

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-127354

(43)Date of publication of application : 16.05.1997

(51)Int.Cl.

G02B 6/22

G02B 6/16

G02B 6/18

(21)Application number : 08-227053

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 28.08.1996

(72)Inventor :  
ONISHI MASASHI  
FUKUDA CHIE  
KANAMORI HIROO

(30)Priority

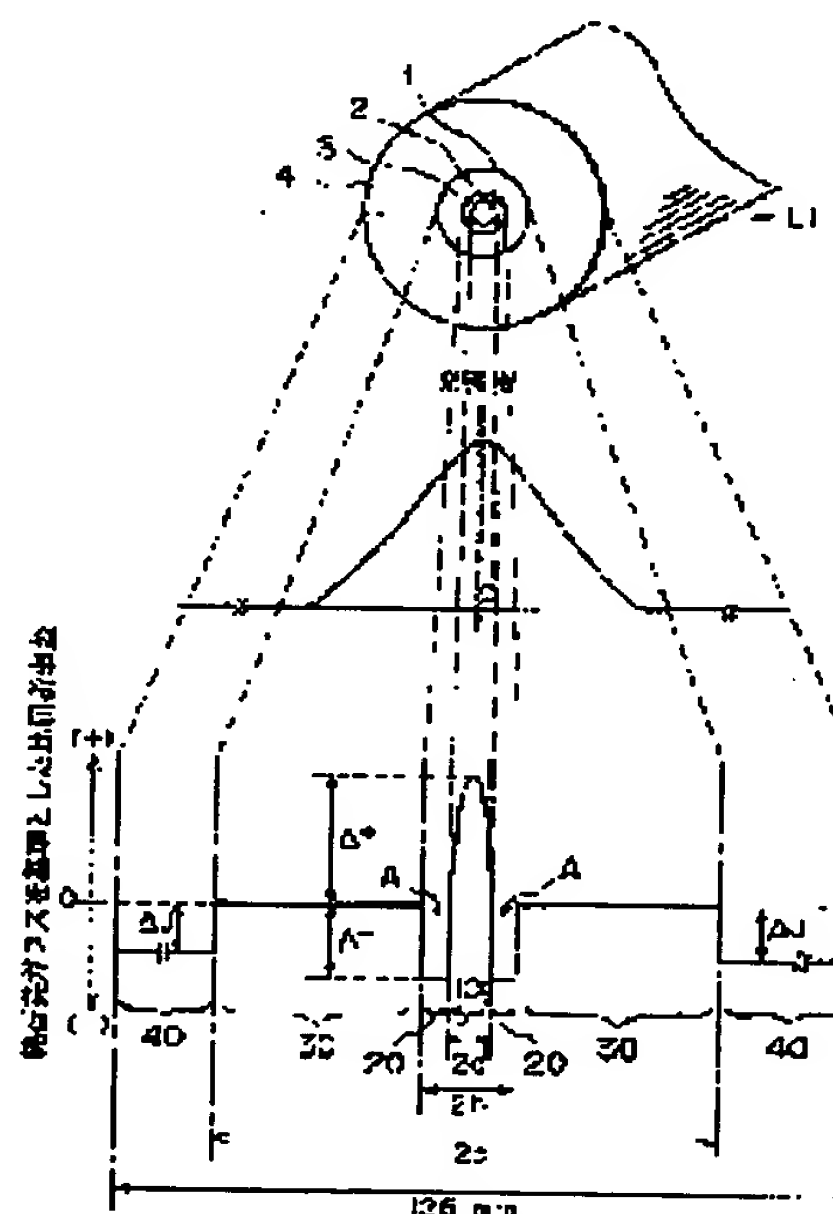
Priority number : 07223605    Priority date : 31.08.1995    Priority country : JP

## (54) DISPERSION COMPENSATED FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable the drawing of a fiber at low temp. and to decrease the optical transmission loss by forming a clad layer around a core part in such a manner that the clad layer has lower refractive index than the core part.

SOLUTION: The clad part formed around the core part 1 is a glass region with addition of fluorine and the like and having a controlled refractive index. The clad consists of a first clad 2 having 4-20 $\mu$ m outer diameter (a part of the optical clad), a second clad 3 formed around the first clad (to constitute the optical clad with the first clad) and a third clad 4 having 80-150 $\mu$ m outer diameter (which constitutes the physical clad). The third clad 4 is a glass region tightly formed around the second clad 3 and has lower glass viscosity than the second clad 3 when the fiber is drawn. Especially, the third clad 4 is such a glass region that impurities are added to control the glass viscosity at a specified temp. (for example, drawing temp.).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

01.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3068013

[Date of registration]

19.05.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 1 2 7 3 5 4

(43) 公開日 平成9年(1997)5月16日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
G 0 2 B	6/22		G 0 2 B	6/22
	6/16	3 2 1		6/16 3 2 1
	6/18			6/18

審査請求 未請求 請求項の数 9

OL

(全 1 5 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 2 2 7 0 5 3

(22) 出願日 平成8年(1996)8月28日

(31) 優先権主張番号 特願平 7 - 2 2 3 6 0 5

(32) 優先日 平 7 ( 1 9 9 5 ) 8 月 3 1 日

(33) 優先権主張国 日本 ( J P )

(71) 出願人 000002130  
住友電気工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 大西 正志  
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 福田 智恵  
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 金森 弘雄  
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

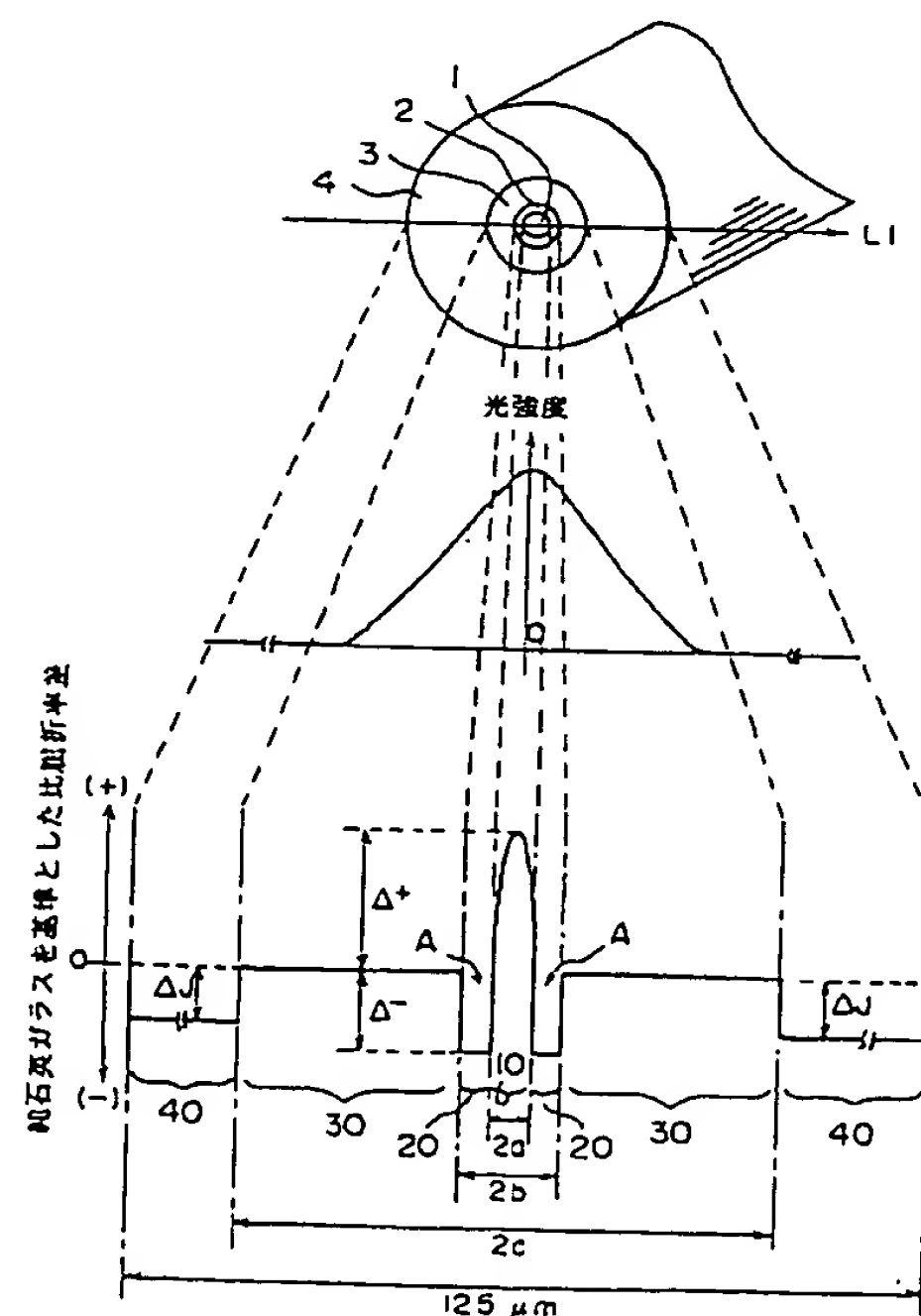
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 分散補償ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 より低温での線引を可能にし、より光伝送損失を低減し得る分散補償ファイバを得る。

【解決手段】 この分散補償ファイバは、GeO<sub>2</sub>が高濃度に添加されたコア部1と、コア部1の外周に形成されたクラッド部を備える。クラッド部は、フッ素等が添加された第1クラッド2と、該第1クラッド2よりも高い屈折率を有する第2クラッド3と、実質的に信号光の伝搬に寄与しないガラス領域となる第3クラッド4を備える。特に、第3クラッド4には、所定温度におけるガラス粘性が第2クラッド3あるいは純粋石英ガラスよりも低くなるよう所定の不純物が添加されている。



B 2

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 その外径が  $2 \sim 4 \mu\text{m}$  であって  $\text{GeO}_2$  が  $10 \text{ mol } \%$  以上添加されたコア部と、該コア部の外周に形成され、かつ、その屈折率が該コア部よりも低く設定されたクラッド部とを備えた、石英ガラスを主成分とする分散補償ファイバにおいて、  
前記クラッド部は、前記コア部の外周に密着して形成され、その外径が  $4 \sim 20 \mu\text{m}$  であり、かつ、屈折率を低下させるための不純物が添加されたガラス領域であって、光学的クラッドの一部を構成する第 1 クラッドと、前記第 1 クラッドの外周に密着して形成され、かつ、該第 1 クラッドの屈折率よりも高い屈折率を有するガラス領域であって、該第 1 クラッドとともに前記光学的クラッドを構成する第 2 クラッドと、  
前記第 2 クラッドの外周に密着して形成され、かつ、所定温度において該第 2 クラッドよりも低いガラス粘性を有するガラス領域であって、物理的クラッドを構成する第 3 クラッドと、  
を備えたことを特徴とする分散補償ファイバ。

【請求項 2】 その外径が  $2 \sim 4 \mu\text{m}$  であって  $\text{GeO}_2$  が  $10 \text{ mol } \%$  以上添加されたコア部と、該コア部の外周に形成され、かつ、その屈折率が該コア部よりも低く設定されたクラッド部とを備えた、石英ガラスを主成分とする分散補償ファイバにおいて、  
前記クラッド部は、前記コア部の外周に密着して形成され、その外径が  $4 \sim 20 \mu\text{m}$  であり、かつ、屈折率を低下させるための不純物が添加されたガラス領域であって、光学的クラッドの一部を構成する第 1 クラッドと、前記第 1 クラッドの外周に密着して形成され、かつ、所定温度におけるガラス粘性が純粋石英ガラスよりも低いガラス領域であって、該第 1 クラッドとともに前記光学的クラッドを構成する第 2 クラッドと、  
前記第 2 クラッドの外周に密着して形成され、かつ、所定温度における純粋石英ガラスよりも低いガラス粘性を有するガラス領域であって、物理的クラッドを構成する第 3 クラッドと、  
を備えたことを特徴とする分散補償ファイバ。

【請求項 3】 前記第 2 クラッドは、塩素が  $0.25 \sim 1 \text{ wt } \%$  添加されたガラス領域であることを特徴とする請求項 2 記載の分散補償ファイバ。

【請求項 4】 前記第 1 クラッドは、フッ素が所定量添加されたガラス領域であることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項記載の分散補償ファイバ。

【請求項 5】 前記第 3 クラッドは、フッ素が  $0.1 \sim 2 \text{ wt } \%$  添加されたガラス領域であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項記載の分散補償ファイバ。

【請求項 6】 前記第 3 クラッドは、塩素が  $0.25 \sim 1 \text{ wt } \%$  添加されたガラス領域であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項記載の分散補償ファイバ。

【請求項 7】 波長  $1.55 \mu\text{m}$  帯の光に対し、その光

伝送損失が  $1 \text{ dB/km}$  以下であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項記載の分散補償ファイバ。

【請求項 8】 波長  $1.55 \mu\text{m}$  帯の光に対し、その波長分散値が  $-50 \text{ ps/km/nm}$  以下であり、かつ、波長分散スロープが負であることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか一項記載の分散補償ファイバ。

【請求項 9】  $5 \sim 16 \text{ kg/mm}^2$  の張力によって線引されたことを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか一項記載の分散補償ファイバ。

## 10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、 $1.3 \mu\text{m}$  帯零分散ファイバを含む伝送系に適用され、波長  $1.55 \mu\text{m}$  帯の光に対して、該伝送系の波長分散と波長依存性を補償するための分散補償ファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、 $1.3 \mu\text{m}$  帯零分散ファイバを含む伝送系において、波長  $1.55 \mu\text{m}$  帯の光に対する該伝送系の波長分散と波長依存性を補償するための分散補償ファイバとしては、例えば図 19 に示されたような屈折率プロファイルを有する分散補償ファイバが知られている（特開平 7 - 261048 号公報）。この分散補償ファイバは、石英ガラス（以下、 $\text{SiO}_2$  ガラスという）を主成分とし、 $\text{GeO}_2$  が高濃度に添加されたコア 100 と、該コア 100 の外周に密着して形成され、かつ、フッ素が添加された第 1 クラッド 200 と、該第 1 クラッド 200 の外周に密着して形成された純粋石英ガラス領域である第 2 クラッド 300 により構成されている。

30 【0003】なお、この図 19 に示された分散補償ファイバの光強度分布及び屈折率プロファイルの各横軸は、スケールは異なるが、それぞれ図中の線 L2 に沿ったコア 100 の中心軸に垂直な断面上の各位置に相当している。したがって、図中の屈折率プロファイルにおいて、領域 101 はコア 100 の線 L2 上の領域、領域 201 は第 1 クラッド 200 の線 L2 上の領域、領域 301 は第 2 クラッド 300 の線 L2 上の領域にそれぞれ対応している。

40 【0004】従来の分散補償ファイバは、コア 100、第 1 クラッド 200 及び第 2 クラッド 300 それぞれの屈折率を、図 19 に示された特定の範囲に規定することで、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の近傍の光に対し、負の波長分散値を得るとともに波長分散スロープを負に設定している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の分散補償ファイバは、以上のようにコア 100 に  $\text{GeO}_2$  を高濃度に添加してその屈折率を上げるとともに、第 1 クラッド 200 にフッ素を添加してその屈折率を下げ、該コア 100 と第 1 クラッド 200 の間の相対的な屈折率差が大きく

なるよう各領域の屈折率を設定することで、より大きな波長分散値を得ている。換言すれば、分散補償ファイバの所定波長に対する分散値は、図 19 に示された屈折率プロファイルの凹み領域 A の深さに大きく依存している。

【0006】一方、上記コア 100 に  $\text{GeO}_2$  が 10 ~ 30 mol % 程度という高濃度に添加された場合、ファイバを製造する際の線引工程では、ファイバ母材を通常の伝送用光ファイバ ( $\text{GeO}_2$  が 5 mol % 程度以下添加されている) の場合よりも低温で線引することが望ましい。これは、高温で線引を実施した場合、得られたファイバの光伝送損失が該  $\text{GeO}_2$  濃度の増加とともに増大するからである。

【0007】ここで、上述した従来の分散補償ファイバの第 2 クラッド (最外層) は、純粋石英ガラスであるため、通常は 1950℃ ~ 2000℃ という高温で線引する必要がある。このことは、コア 100 における光伝送損失の増大をある程度犠牲にしても、高い温度で線引しなければならないことを意味し、該光伝送損失をより一層低減させる上で大きな制約となる。なお、上述の線引温度はあくまでも相対的な値であって測定場所や測定方法により異なる値を取るのは周知であるため、ここでは参考程度の意味で具体的な数値が示されている。

【0008】この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、従来よりも低温での線引きを可能にし光伝送損失を低減させ得る分散補償ファイバを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】この発明に係る分散補償ファイバは、例えば図 1 に示されたように、石英ガラスを主成分とする光導波路であって、 $\text{GeO}_2$  が 10 mol % 以上添加されたコア部 1 と、該コア部 1 の外周に形成され、かつ、その屈折率が該コア部 1 よりも低く設定されたクラッド部とを備えている。そして、このクラッド部は、上記コア部 1 の外周に密着して形成された第 1 クラッド 2 と、該第 1 クラッド 2 の外周に密着して形成された第 2 クラッド 3 と、そして、該第 2 クラッド 3 の外周に密着して形成された第 3 クラッド 4 を備えている。特に、この第 3 クラッド 4 は、所定温度 (例えば、線引時の温度) におけるガラス粘性を制御するための不純物が添加されたガラス領域である。具体的なガラス粘性制御用の不純物としては、フッ素 (F)、塩素 (Cl)、ゲルマニウム (Ge)、リン (P)、ホウ素 (B) 等があり、図 2 は、代表的な不純物について、その添加量と 1500℃ におけるガラス粘性の関係を示す。

【0010】なお、当該分散補償ファイバにおいて、少なくとも、上記第 1 クラッド 2 には、例えばフッ素、ホウ素等の屈折率を低下させるための不純物が所定量添加されており、コア部 1 と第 1 クラッド 2 との間の相対的

な屈折率差が大きくなるよう各領域の屈折率が設定されている。このように、該不純物の添加量を制御して (図 3 参照)、コア部 1 と第 1 クラッド 2 との間に十分な屈折率差を設定することにより、当該分散補償ファイバの波長分散値を負にするとともに、分散スロープを負に設定することができる。また、当該分散補償ファイバは、上記コア部の外径が 2 ~ 4  $\mu\text{m}$ 、上記第 1 クラッド 2 の外径が 4 ~ 20  $\mu\text{m}$  に設定されており、所定のシングルモード条件を満たした光導波路である。

【0011】このようなシングルモードの分散補償ファイバにおいて、伝搬される光は、コア部 1 の近傍ガラス領域 (上記クラッド部の一部) にも広がって伝搬される。このような光のファイバ径方向 (光の伝搬方向に対して垂直な方向) への広がり、指数関数的に減少するため、該クラッド部の外周部には光がほとんど伝搬されない領域が存在する。このような領域に位置するクラッドは、主に物理的強度を確保するガラス領域であるため物理的クラッド又はジャケット層とも呼ばれ、上記第 3 クラッド 4 がこの物理的クラッドに相当する。また、該物理的クラッドの内側にあって光が伝搬されるガラス領域は光学的クラッドとも呼ばれ、上記第 1 及び第 2 クラッド 2、3 がこの光学的クラッドに相当する。

【0012】この発明に係る分散補償ファイバは、このように光信号の伝搬に実質的に寄与しない物理的クラッドに相当する第 3 クラッド 4 に、たとえばフッ素、塩素等のガラス粘性制御用の不純物を添加しておくことにより、該第 3 クラッド 4 の、線引時の所定温度におけるガラス粘性を制御している。このように所定温度におけるガラス粘性が制御された第 3 クラッド 4 を物理的クラッドとして形成することで、該所定温度におけるガラス粘性の高い光学的クラッドが占める、全断面積 (光の伝搬方向に対して垂直な面の面積) に対する割合が減少する。このため、線引を実施した場合には、より低温で線引を実施することができる。

【0013】具体的に、請求項 1 に係る分散補償ファイバは、 $\text{GeO}_2$  が 10 ~ 30 mol % 程度添加され、その外径が 2 ~ 4  $\mu\text{m}$  のコア部 1 を備える。そして、該コア部 1 の外周に形成されたクラッド部は、フッ素等が添加され、屈折率制御されたガラス領域であって、その外径が 4 ~ 20  $\mu\text{m}$  の第 1 クラッド 2 (光学的クラッドの一部を構成) と、該第 1 クラッド 2 の外周に密着して形成された第 2 クラッド 3 (第 1 クラッド 2 とともに光学的クラッドを構成) と、そして、該第 2 クラッド 3 の外周に密着して形成され、かつ、線引時におけるガラス粘性が該第 2 クラッドよりも低いガラス領域であって、その外径が 80 ~ 150  $\mu\text{m}$  の第 3 クラッド 4 (物理的クラッドを構成) を備えている。特に、この請求項 1 に係る分散補償ファイバにおいて、第 1 クラッド 2 と第 2 クラッド 3 との屈折率差の制御は、該第 1 クラッド 2 に添加されるフッ素等の添加量を制御することにより行われ



ており、第2クラッド3の屈折率制御は行われていない。また、この請求項1に係る分散補償ファイバのガラス粘性の制御は、第3クラッド4に対して行われており、所定温度における第3クラッド4のガラス粘性が第2クラッド3よりも低くなるよう制御されている。

【0014】発明者らは、第3クラッド4に0.1～2wt%のフッ素、あるいは0.25～1wt%の塩素を添加することにより、所望の光導波路製品が得られることを確認した。

【0015】さらに、請求項2に係る分散補償ファイバも、 $\text{GeO}_2$ が10～30mol%程度添加され、その外径が2～4 $\mu\text{m}$ のコア部1と、該コア部1の外周に形成されたクラッド部を備えている。ただし、このクラッド部は、フッ素等が添加され、屈折率制御されたガラス領域であって、その外径が4～20 $\mu\text{m}$ の第1クラッド2（光学的クラッドの一部を構成）と、該第1クラッド2の外周に密着して形成され、かつ、所定温度におけるガラス粘性が純粋石英ガラスよりも低い第2クラッド3（第1クラッド2とともに光学的クラッドを構成）と、そして、該第2クラッド3の外周に密着して形成され、かつ、所定温度におけるガラス粘性が該純粋石英ガラスよりも低いガラス領域であって、その外径が80～150 $\mu\text{m}$ の第3クラッド4（物理的クラッドを構成）を備えている。

【0016】特に、この請求項2に係る分散補償ファイバは、第2クラッド3にも、所定温度（例えば線引時の温度）における該第2クラッドのガラス粘性を低下させるための不純物が添加されたことを特徴としている。第2クラッド3が純粋石英ガラスである場合（請求項1に係る分散補償ファイバ）、線引時において、上記第3クラッド4よりもガラス粘性の高い該第2クラッド3に線引張力が集中し過ぎると、このガラス領域の屈折率変化（残留応力に起因する屈折率の低下）を招くからである。

【0017】この場合、第2クラッド3に添加される不純物は、塩素等の屈折率を増加させる材料であることが好ましい。第1クラッド2の屈折率を低下させるとともに第2クラッド3の屈折率を増加させて該第1及び第2クラッド間2、3の屈折率差を制御することにより、図1の屈折率プロファイル中の凹み領域A（コア部1に相当する領域10、第1クラッド2に相当する領域20、及び第2クラッド3に相当する領域30の各屈折率プロファイルにより定義される領域）をより深くすることができる。また、このように屈折率プロファイルを制御することにより、当該分散補償ファイバの分散特性をさらに改善することができる（十分な負の波長分散値が得られるとともに波長分散スロープの絶対値を大きくすることができる）。

【0018】具体的に、この請求項2に係る分散補償ファイバにおいて、第1クラッド2と第2クラッド3との

間の屈折率差の制御（図1の屈折率プロファイル中の凹み領域Aの深さ制御）は、該第1クラッド2に添加されるフッ素等の添加量と第2クラッド3に添加される塩素等の添加量を制御することにより行われている。一般に、フッ素等の不純物の添加量が増加するにしたがって技術的な困難性が増加するが、塩素等を添加して第2クラッド3の屈折率を増加させることにより、第1及び第2クラッド2、3間の十分な屈折率差（大きな波長分散値）を容易に得ることができる。また、この請求項2に係る分散補償ファイバのガラス粘性の制御は、第2及び第3クラッド2、3において行われており、所定温度における第2及び第3クラッド3、4の各ガラス粘性が純粋石英ガラスよりも低くなるよう制御されている。すなわち、第2クラッド3には、0.25～1wt%の塩素が添加され、屈折率の制御とともにガラス粘性の制御を実現している。併せて、第3クラッド4には、0.1～2wt%のフッ素、あるいは0.25～1wt%の塩素を添加することにより、所望の光導波路製品が得られることを発明者らは確認した。

【0019】なお、第3クラッド4に添加されるガラス粘性制御用の不純物として、第2クラッド3に添加された不純物、例えば屈折率を増加させるとともに所定温度におけるガラス粘性を低下させるための塩素等と同一の不純物を選択し、かつ、この選択された同一不純物を該第2クラッド3への添加量と同程度だけ、該第3クラッド4に添加することにより、製造工程を簡略化することができる。

【0020】また、この発明に係る分散補償ファイバは、予め用意されたファイバ母材を5～16kg/mm<sup>2</sup>の張力で線引することが望ましい。これにより、上述した課題を克服した、光伝送損失の低い分散補償ファイバが得られる。

【0021】また、この発明に係る分散補償ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯の光に対し、その光伝送損失が1dB/km以下の低損失であることが、実用上望ましい。

【0022】さらに、この発明に係る分散補償ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯の光に対して、その波長分散値が-50ps/km/nm以下に設定され、かつ、その波長分散スロープを負に設定することにより、1.3 $\mu\text{m}$ 帯零分散ファイバを含む伝送系の波長分散と波長依存性を効果的に補償することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る分散補償ファイバの各実施例を図1～図18を用いて説明する。

【0024】図1は、この発明に係る分散補償ファイバの断面構造、ファイバ径方向（線L1で示された方向）の光強度分布、及び、ファイバ径方向の屈折率プロファイルを示す図である。なお、この図1に示された分散補償ファイバの光強度分布及び屈折率プロファイルの各横

軸は、スケールは異なるが、それぞれ図中の線 L 1 に沿ったコア部 1 の中心軸に垂直な断面上の各位置に相当している。したがって、図中の屈折率プロファイルにおいて、領域 1 0 はコア部（以下、コアという）1 の線 L 1 上の領域、領域 2 0 は第 1 クラッド 2 の線 L 1 上の領域、領域 3 0 は第 2 クラッド 3 の線 L 1 上の領域、領域 4 0 は第 3 クラッド 4 の線 L 1 上の領域にそれぞれ対応している。また、図中の屈折率プロファイルの縦軸は純粋石英ガラスを基準とした比屈折率差を表す。

【0025】この発明に係る分散補償ファイバは、石英ガラス（以下、SiO<sub>2</sub> ガラスという）を主成分とする光導波路である。その中心に位置するコア 1 には高濃度に（10～30mol%程度、より好ましくは20～25mol%程度）GeO<sub>2</sub> を添加されており、その屈折率が高くなるよう屈折率制御されている。コア 1 の外側に設けられた第 1 クラッド 2 にはフッ素を添加して屈折率を下げ、この間の相対的な屈折率差を大きくとっている。また、第 1 クラッド 2 の外側には、第 2 クラッド 3（純粋石英ガラスで構成するか、あるいはガラス粘性を低下させるための不純物を含む構成がある）が形成され

ており、図示したように、このファイバ内を伝送される光は、コア 1 を中心として第 2 クラッド 3 まで広がっている。したがって、第 2 クラッド 3 の外側の領域は、実質的に信号光の伝搬に寄与しないガラス領域となっており、この発明に係る分散補償ファイバでは、このガラス領域（第 3 クラッド 4）にフッ素等が所定量添加されており、純粋石英ガラスと比較して所定温度におけるガラス粘性を低下させている。

【0026】ここで、図 1 の屈折率プロファイル中の参

照符合について説明する。この屈折率プロファイル中の

2 a はコア 1 の外径（コア径）、2 b は第 1 クラッド 2

の外径、2 c は第 2 クラッド 3 の外径を示す。また、Δ

は純粋石英ガラスを基準とした比屈折率差を示す。

Δ<sup>+</sup> = (n<sub>1</sub> - n<sub>0</sub>) / n<sub>0</sub>

Δ<sup>-</sup> = (n<sub>2</sub> - n<sub>0</sub>) / n<sub>0</sub>

ΔP = (n<sub>3</sub> - n<sub>0</sub>) / n<sub>0</sub>

ΔJ = (n<sub>4</sub> - n<sub>0</sub>) / n<sub>0</sub>

なお、n<sub>0</sub> は純粋石英ガラスの屈折率、n<sub>1</sub> はコア 1 の屈折率、n<sub>2</sub> は第 1 クラッド 2 の屈折率、n<sub>3</sub> は第 2 クラッド 3 の屈折率、n<sub>4</sub> は第 3 クラッド 4 の屈折率である。また、各式の屈折率パラメータは順不同である。したがって、所定ガラス領域の比屈折率差が負の値の場合、該ガラス領域は純粋石英ガラスの屈折率よりも低い屈折率を有することを意味する。

【0027】次に、第 2 クラッド 3 の外径の決定方法について説明する。上述したように、シングルモードの光ファイバでは、伝搬される光の強度分布は、コア 1 だけでなく近傍のクラッド部にも広がっている（図 1 参照）。おおよその目安として、コア 1 を中心として、モードフィールド径（MFD）の約 5～6 倍の範囲に広が

って伝搬するため、この光が伝搬するガラス領域（光学的クラッド）の外側に位置するガラス領域（物理的クラッド）にフッ素等が添加され、その屈折率が変化した場合であっても、当該光ファイバの光学的特性には何等影響はない。

【0028】当該ファイバ内を伝搬する光の強度分布を考慮し、より厳密に第 2 クラッド 3 の外径を決定する。図 4 に示されたように、コア 1 の中心を原点“o”、コア 1 の中心“o”から第 2 クラッド 3 の外径までの距離を“a”、光ファイバ断面の o - a 間の光強度を P<sub>o-a</sub> とし、光強度全体を“1”とすると、

$$P_{o-a} = 1 - \exp(-2a^2/\omega^2)$$

と表される。ただし、ω はファイバのモードフィールド径である。そこで、この式を基に、1 - P<sub>o-a</sub> = exp(-2a<sup>2</sup>/ω<sup>2</sup>) が無視できるほど小さくなる“a”の値を求めると、求めた距離 a の位置での光強度は実質的にゼロとみなすことができる。

【0029】なお、ここでは、1 - P<sub>o-a</sub> の値を、10<sup>-30</sup>、10<sup>-40</sup>、10<sup>-50</sup> の 3 種類を想定して計算を行った。この計算結果を、図 5 及び図 6 の表に示す。

【0030】特に、図 5 では Δ<sup>+</sup> = 2.5% に設定された場合の、サンプル No. 1～No. 6 について、図 6 では Δ<sup>+</sup> = 2.1% に設定された場合の、サンプル No. 1～No. 7 について、各計算結果が示されている。この計算では、コア 1 の外径（図 1 に示された屈折率プロファイル中の 2 a）及び第 1 クラッド 2 の外径（図 1 に示された屈折率プロファイル中の 2 b）に対し、対応する各種第 2 クラッド 3 の外径（図 1 に示された屈折率プロファイル中の 2 c）を求めた。なお、これらの表には、有限要素法で計算された分散特性（波長分散値及び分散スロープの値）も示されている。

【0031】図 5 及び図 6 で示されたコア 1 の外径は、各図とも分散補償ファイバとして好適なコア径の範囲内（2～4 μm）にある。なお、この範囲の下限よりもコア径が小さいと、曲げ損失が大きくなり好ましくない。一方、この範囲の上限よりもコア径が大きいと、分散スロープの絶対値が小さくなり、分散補償ファイバとしては有効に機能しない。

【0032】このようにして規定される第 2 クラッド 3 の外径よりも外側のガラス領域には、フッ素、塩素、ゲルマニウム、リン、ホウ素など、主成分である SiO<sub>2</sub> ガラスの所定温度におけるガラス粘性を低下させるための不純物が添加された第 3 クラッド 4（ジャケット層ともいう）が設けられている。図 2 は、代表的な不純物の添加量（wt%）と、これら不純物を含む SiO<sub>2</sub> ガラスの 1500℃におけるガラス粘性との関係を示す図である。特に、縦軸はガラス粘性の単位としてポアズ（poise、記号：P、10 P = 1 N・s/m<sup>2</sup>）で表されている。

【0033】なお、上述の計算では伝送特性に影響を与

えないクラッド領域を求めるべく、 $1 - P_{0-a}$  の値として、 $10^{-30}$ 、 $10^{-40}$ 、 $10^{-50}$  の3種類を想定して試算したが、これらの値をどの程度の値に設定するかは、設計事項の範囲であり、ファイバの特性等に応じて適宜選定すればよい。なお、以下に示す実施例では、伝送特性に全く影響を与えない値として、 $1 - P_{0-a} = 10^{-50}$  として分散補償ファイバを設計している。

【0034】また、図5及び図6に示された条件を満たす光ファイバは、いずれも波長分散スロープが負であり、かつ、その波長分散値もおおよそ  $-50 \text{ ps/km/nm}$  以下であり、分散補償ファイバとして有効に機能し得る。

【0035】次に、この発明に係る分散補償ファイバの製造工程を、図7を用いて説明する。なお、以下に説明する製造工程では、 $\text{SiO}_2$  ガラスの所定温度におけるガラス粘性を低下させるための不純物としてフッ素等の屈折率制御用の不純物を用い、その添加量の割合を変化させて分散補償ファイバを作製した。この作製はVAD法によって行った。

【0036】まず、図7に示されたように、中心から周辺に向かって屈折率が2～5乗又はステップ状に減少するように、 $\text{SiO}_2$  ガラスに対して  $\text{GeO}_2$  の添加量を調整し、屈折率  $n_1$  の円柱状のコア部材11を作製する。続いて、 $\text{SiO}_2$  ガラスに対して均一にフッ素を添加して屈折率を  $n_2$  に低下させた第1クラッド部材21を作製し、得られた第1クラッド部材21の中心に孔210をあける。そして、この第1クラッド部材21に設けられた孔210に、先に得られたコア部材11を挿入する。さらに、屈折率  $n_3$  の  $\text{SiO}_2$  ガラスを主成分とする円柱状の第2クラッド部材31を作製し、その中心に孔310をあける。なお、この第2クラッド部材31\*

コア1 :  $\text{GeO}_2$  が所定量添加 (屈折率は増加) された  $\text{SiO}_2$  ガラス  
第1クラッド2 : フッ素が所定量添加 (屈折率は低下) された  $\text{SiO}_2$  ガラス  
第2クラッド3 : 純粋石英ガラス  
第3クラッド4 : フッ素が所定量添加され (屈折率は低下)、線引時におけるガラス粘性が該第2クラッド3よりも低くなるよう制御された  $\text{SiO}_2$  ガラス

#### 実験1

発明者らは、上記第1実施例 (図9) の構造を備えた分散補償ファイバを以下の条件で試作した。具体的には、 $\Delta^+ = 2.9\%$ 、 $\Delta^- = -0.36\%$ 、 $\Delta P = 0\%$  とし、 $\Delta J$  の値を、 $0\%$ 、 $-0.1\%$ 、 $-0.3\%$ 、 $-0.4\%$ 、 $-0.6\%$ 、 $-0.7\%$  と変えた複数種のファイバ母材を作製した。そして、線引時の張力を  $9.8 \text{ kg/mm}^2$  とし、かつ、線引速度を一定にして各ファイバ母材を線引し、 $2a = 2.25 \mu\text{m}$ 、 $2b = 7.5 \mu\text{m}$ 、 $2c = 39 \mu\text{m}$  の分散補償ファイバを作製した。なお、得られた各分散補償ファイバの、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光に対する分散特性は、波長分散値が  $-144 \text{ ps/km/nm}$  であり、分散スロープが  $-0.45 \text{ ps/km/nm}^2$  である。

\*が純粋石英ガラスである場合、 $n_3 = n_0$  であるが (後述する第1及び第2実施例)、この第2クラッド部材31にも屈折率制御用の不純物を添加してもよい (後述する第3及び第4実施例)。そして、この第2クラッド部材31に設けられた孔310に、先に円柱状に一体化させたコア部材11及び第1クラッド部材21を挿入する。さらに、 $\text{SiO}_2$  ガラスに対して均一にフッ素を添加され、所定温度におけるそのガラス粘性を低下させられた、屈折率  $n_4$  の円柱状の第3クラッド部材41を作製し、その中心に孔410をあける。そして、上述した孔410に、先に一体化されたコア部材11、第1クラッド部材21及び第2クラッド部材31を挿入し、これらを加熱して光ファイバ母材を作製した (図8参照)。そして、このファイバ母材を線引し、外径  $125 \mu\text{m}$  のシングルモード分散補償ファイバを得た。なお、得られたファイバ母材の線引工程は、例えば特公昭54-33859号公報に開示されている。

#### 【0037】第1実施例

次に、この発明に係る分散補償ファイバの第1実施例を、図9を用いて説明する。なお、図9は当該第1実施例の屈折率プロファイルを示す図であり、各領域10a、20a、30a、40aは図1の領域10、20、30、40にそれぞれ対応している。したがって、図9に示された屈折率プロファイルの横軸は、図1のファイバ断面における線L1上の各位置に対応している。また、該屈折率プロファイルの縦軸は、純粋石英ガラスを基準とした比屈折率差を表す。

【0038】この第1実施例におけるコア1、及び第1～第3クラッド2～4は、以下のように構成されている。

#### 【0039】

$\text{km/nm}^2$  である。

【0040】上述した各  $\Delta J$  の値を有する分散補償ファイバごとに、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光に対する光伝送損失を測定した結果を図10に示す。

【0041】図10に示されたグラフにおいて、フッ素を添加していない従来の分散補償ファイバ ( $\Delta J = 0\%$  : 第3クラッドが純粋石英ガラス) では、ガラス粘性が高いため、より高温の  $2000^\circ\text{C}$  程度で線引している。一方、 $\Delta J = -0.4\%$  の場合には  $1840^\circ\text{C}$  程度、 $\Delta J = -0.7\%$  (フッ素添加量:  $2 \text{ wt}\%$ ) の場合には  $1820^\circ\text{C}$  程度と、第3クラッド4に対するフッ素の添加量の割合が増加するにつれて (比屈折率差  $\Delta J$  が小さくなるにつれて) 線引温度が減少する傾向にあ



る。これは、フッ素の添加量の割合が増加するにつれて、線引時における第3クラッド4のガラス粘性が純粋石英ガラス（第2クラッド3）よりも低いためである。したがって、このような第3クラッド4を備えることにより、従来の分散補償ファイバを製造する場合よりも低い温度で線引を実施することが可能となり、これによって光伝送損失も減少することが分かる。

【0042】なお、図3に、純粋石英ガラスに対するフッ素の添加量（wt%）と、純粋石英ガラスを基準とした比屈折率差 $\Delta$ （%）との関係を示しておく。

#### 【0043】実験2

さらに、発明者らは、以下の条件で第1実施例（図9）の構造を備えた分散補償ファイバを試作した。具体的には、 $\Delta^+ = 2.6\%$ 、 $\Delta^- = -0.35\%$ 、 $\Delta P = 0\%$ とし、 $\Delta J$ の値を、 $0\%$ 、 $-0.1\%$ 、 $-0.3\%$ 、 $-0.5\%$ 、 $-0.6\%$ 、 $-0.7\%$ と変えた複数種のファイバ母材を作製した。そして、線引時の張力を $9.8 \text{ kg/mm}^2$ とし、かつ、線引速度を一定にして各ファイバ母材を線引し、 $2a = 2.6 \mu\text{m}$ 、 $2b = 8.8 \mu\text{m}$ 、 $2c = 46 \mu\text{m}$ の分散補償ファイバを作製した。なお、得られた各分散補償ファイバの、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する分散特性は、波長分散値が $-100 \text{ ps/km/nm}$ であり、分散スロープが $-0.2 \text{ ps/km/nm}^2$ である。

【0044】上述した各 $\Delta J$ の値を有する分散補償ファイバごとに、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する光伝送損失を測定した結果を図11に示す。

【0045】この場合も、上述した実験1と同様に、第3クラッド4に添加されたフッ素の添加量の割合が増加するにつれて（比屈折率差 $\Delta J$ が小さくなるにつれて）、光伝送損失が減少することが分かる。

#### 【0046】実験3

さらに、発明者らは、以下の条件で第1実施例（図9）の構造を備えた分散補償ファイバを試作した。具体的には、 $\Delta^+ = 2\%$ 、 $\Delta^- = -0.35\%$ 、 $\Delta P = 0\%$ とし、 $\Delta J$ の値を、 $0\%$ 、 $-0.1\%$ 、 $-0.2\%$ 、 $-0.3\%$ 、 $-0.5\%$ 、 $-0.6\%$ 、 $-0.7\%$ と変えた複数種のファイバ母材を作製した。また、線引時の張力を $9.8 \text{ kg/mm}^2$ とし、かつ、線引速度を一定として各ファイバ母材を線引し、 $2a = 3 \mu\text{m}$ 、 $2b = 10 \mu\text{m}$ 、 $2c = 53 \mu\text{m}$ の分散補償ファイバを作製した。なお、得られた各分散補償ファイバの、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する分散特性は、波長分散値が $-85 \text{ ps/km/nm}$ であり、分散スロープが $-0.2 \text{ ps/km/nm}^2$ である。

【0047】上述した各 $\Delta J$ の値を有する分散補償ファイバごとに、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する光伝送損失を測定した結果を図12に示す。

【0048】この場合も、上述した実験1及び実験2と\*

コア1

:  $\text{GeO}_2$ が所定量添加（屈折率は増加）された $\text{SiO}_2$ ガラス

\*同様に、第3クラッド4に添加されたフッ素の添加量の割合が増加するにつれて（比屈折率差 $\Delta J$ が小さくなるにつれて）、光伝送損失が減少することが分かる。

#### 【0049】実験4

次に、線引張力と得られた分散補償ファイバの光伝送損失の関係を実測した結果について以下説明する。この実験4では、 $\Delta J = -0.35\%$ とし、その他の値は、上述した実験1で作製したファイバ母材と同一の母材を用い、線引時の張力を種々変更して線引を実施して分散補償ファイバを作製した。なお、図13は、線引した各張力ごとに、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する得られた分散補償ファイバの伝送損失を測定した結果を示すグラフである。

【0050】図13に示されたグラフから、線引時の張力を増加させると、光伝送損失も低減することが分かる。ただし、 $16 \text{ kg/mm}^2$ を超える大きな張力によって線引した場合には、光ファイバが断線する結果となった。また、光伝送損失は、勿論、より低い値であることが望ましいが、実用上 $1.0 \text{ dB/km}$ よりも低い値であることが望ましい。これらを踏まえ、ファイバ母材は、 $4 \text{ kg/mm}^2$ 以上、より好ましくは $5 \text{ kg/mm}^2$ 以上であって $16 \text{ kg/mm}^2$ 以下の張力を付与して線引することが望ましい。

【0051】参考のため、図14に、線引速度 $v$ を $100 \text{ m/min}$ の一定とした場合における、線引温度と線引張力との一般的な関係を示しておく。対象となるファイバ母材の構造は、実験1の場合と同一である（ $\Delta J = -0.35\%$ ）。この関係は、ファイバ母材の外径、炉の内径、雰囲気等により大きく変動するため、これらの条件次第で、上下に数 $10^\circ\text{C}$ のオーダーでグラフが平行移動し得る。なお、この図14に示された線引張力と線引温度との関係は、この発明とは無関係に示されたものであり、当該発明に係る分散補償ファイバの製造条件を示唆するものではない。

#### 【0052】第2実施例

次に、この発明に係る分散補償ファイバの第2実施例を、図15を用いて説明する。なお、図15は当該第1実施例の屈折率プロファイルを示す図であり、各領域10b、20b、30b、40bは図1の領域10、20、30、40にそれぞれ対応している。したがって、図15に示された屈折率プロファイルの横軸は、図1のファイバ断面における線L1上の各位置に対応している。また、該屈折率プロファイルの縦軸は、純粋石英ガラスを基準とした比屈折率差を表す。

【0053】この第2実施例におけるコア1、及び第1～第3クラッド2～4は、以下のように構成されている。

【0054】



第1クラッド2：フッ素が所定量添加（屈折率は低下）された $\text{SiO}_2$ ガラス  
 第2クラッド3：純粋石英ガラス  
 第3クラッド4：塩素が所定量添加され（屈折率は増加）、線引時におけるガラス粘性が該第2クラッド3よりも低くなるよう制御された $\text{SiO}_2$ ガラス

この第2実施例と上述した第1実施例との構造上の差異は、第3クラッド4に添加される不純物が異なる点である。この構成によっても線引時のガラス粘性を低下させることが可能である。

【0055】発明者らは、以下の条件でこの第2実施例（図15）の構造を備えた分散補償ファイバを試作した。具体的には、 $\Delta^+ = 2.1\%$ 、 $\Delta^- = -0.35\%$ 、 $\Delta P = 0\%$ とし、 $\Delta J$ の値を、 $0\%$ 、 $0.03\%$ 、 $0.08\%$ 、 $0.12\%$ と変えた複数種のファイバ母材を作製した。また、線引時の張力を $9.8 \text{ kg/mm}^2$ とし、かつ、線引速度を一定として各ファイバ母材を線引し、 $2a = 2.75 \mu\text{m}$ 、 $2b = 7.9 \mu\text{m}$ 、 $2c = 47 \mu\text{m}$ の分散補償ファイバを作製した。なお、得られた各分散補償ファイバの、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する分散特性は、波長分散値が $-85 \text{ ps/km/nm}$ であり、分散スロープが $-0.2 \text{ ps/km/nm}^2$ であ \*

コア1： $\text{GeO}_2$ が所定量添加（屈折率は増加）された $\text{SiO}_2$ ガラス  
 第1クラッド2：フッ素が所定量添加（屈折率は低下）された $\text{SiO}_2$ ガラス  
 第2クラッド3：塩素が所定量添加され（屈折率は増加）、線引時におけるガラス粘性が純粋石英ガラスよりも低くなるよう制御された $\text{SiO}_2$ ガラス  
 第3クラッド4：フッ素が所定量添加され（屈折率は低下）、線引時におけるガラス粘性が純粋石英ガラスよりも低くなるよう制御された $\text{SiO}_2$ ガラス

この第3実施例と上述した第1実施例との構造上の差異は、第2クラッド3に塩素が添加されている点である。この構成によっても線引時のガラス粘性を低下させることが可能である。第2クラッド3が純粋石英ガラスである場合（第1及び第2実施例）、線引時において、第3クラッド4よりもガラス粘性の高い該第2クラッド3に線引張力が集中し過ぎると、このガラス領域の屈折率変化（残留応力に起因する屈折率の低下）を招く。この第3実施例の構成に係る課題を解決する。また、第2クラッド3に添加される不純物として、塩素等の屈折率を増加させる材料を選択するのは、第1クラッド2の屈折率を低下させるとともに第2クラッド3の屈折率を増加させて該第1及び第2クラッド間2、3の屈折率差を制御することにより、図16の屈折率プロファイル中の凹み領域A（図1のコア部1に相当する領域10c、図1の第1クラッド2に相当する領域20c、及び図1の第2クラッド3に相当する領域30cの各屈折率プロファイルにより定義される領域）をより深くするためである。また、このように屈折率プロファイルを制御することにより、当該分散補償ファイバの分散特性をさらに改善することができる（十分な負の波長分散値が得られると

\*る。

#### 【0056】第3実施例

次に、この発明に係る分散補償ファイバの第3実施例を、図16を用いて説明する。なお、図16は当該第1実施例の屈折率プロファイルを示す図であり、各領域10c、20c、30c、40cは図1の領域10、20、30、40にそれぞれ対応している。したがって、図16に示された屈折率プロファイルの横軸は、図1のファイバ断面における線L1上の各位置に対応している。また、該屈折率プロファイルの縦軸は、純粋石英ガラスを基準とした比屈折率差を表す。

【0057】この第3実施例におけるコア1、及び第1～第3クラッド2～4は、以下のように構成されている。

【0058】

もに波長分散スロープの絶対値を大きくすることができる）。

【0059】発明者らは、以下の条件でこの第3実施例（図16）の構造を備えた分散補償ファイバを試作した。具体的には、 $\Delta^+ = 2.1\%$ 、 $\Delta^- = -0.35\%$ 、 $\Delta P = 0.08\%$ とし、 $\Delta J$ の値を、 $0\%$ 、 $-0.04\%$ 、 $-0.1\%$ 、 $-0.2\%$ 、 $-0.35\%$ 、 $-0.5\%$ 、 $-0.7\%$ と変えた複数種のファイバ母材を作製した。また、線引時の張力を $9.8 \text{ kg/mm}^2$ とし、かつ、線引速度を一定として各ファイバ母材を線引し、 $2a = 2.8 \mu\text{m}$ 、 $2b = 8 \mu\text{m}$ 、 $2c = 46 \mu\text{m}$ の分散補償ファイバを作製した。なお、得られた各分散補償ファイバの、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する分散特性は、波長分散値が $-101 \text{ ps/km/nm}$ であり、分散スロープが $-0.25 \text{ ps/km/nm}^2$ である。

#### 【0060】第4実施例

次に、この発明に係る分散補償ファイバの第4実施例を、図17を用いて説明する。なお、図17は当該第1実施例の屈折率プロファイルを示す図であり、各領域10d、20d、30d、40dは図1の領域10、20、30、40にそれぞれ対応している。したがって、

図17に示された屈折率プロファイルの横軸は、図1のファイバ断面における線1上の各位置に対応している。また、該屈折率プロファイルの縦軸は、純粋石英ガラスを基準とした比屈折率差を表す。

- コア1 :  $\text{GeO}_2$ が所定量添加（屈折率は増加）された $\text{SiO}_2$ ガラス  
 第1クラッド2 : フッ素が所定量添加（屈折率は低下）された $\text{SiO}_2$ ガラス  
 第2クラッド3 : 塩素が所定量添加され（屈折率は増加）、線引時におけるガラス粘性が純粋石英ガラスよりも低くなるよう制御された $\text{SiO}_2$ ガラス  
 第3クラッド4 : 塩素が所定量添加され（屈折率は増加）、線引時におけるガラス粘性が純粋石英ガラスよりも低くなるよう制御された $\text{SiO}_2$ ガラス

この第4実施例と上述した第3実施例との構造上の差異は、第3クラッド4に添加された不純物が異なる点にある。すなわち、この第4実施例では、第2クラッド3と第3クラッド4のいずれにも塩素が添加されている。特にこの場合、第2及び第3クラッド3、4の線引時におけるガラス粘性を一致させることにより（塩素の添加量を一致させる）、当該分散補償ファイバの製造工程の簡略化が可能になる。

【0063】発明者らは、以下の条件でこの第4実施例（図17）の構造を備えた分散補償ファイバを試作した。具体的には、 $\Delta^+ = 2.1\%$ 、 $\Delta^- = -0.35\%$ 、 $\Delta P = 0.08\%$ とし、 $\Delta J$ の値を、 $0\%$ 、 $0.03\%$ 、 $0.08\%$ 、 $0.12\%$ と変えた複数種のファイバ母材を作製した。また、線引時の張力を $9.8 \text{ kg/mm}^2$ とし、かつ、線引速度を一定として各ファイバ母材を線引し、 $2a = 2.7 \mu\text{m}$ 、 $2b = 7.7 \mu\text{m}$ 、 $2c = 46 \mu\text{m}$ の分散補償ファイバを作製した。なお、得られた各分散補償ファイバの、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する分散特性は、波長分散値が $-101 \text{ ps/km/nm}$ であり、分散スロープが $-0.3 \text{ ps/km/nm}^2$ である。

【0064】上述した各 $\Delta J$ の値を有する分散補償ファイバごとに、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する光伝送損失を測定した結果を図18に示す。この図18に示されたグラフからも分るように、第3クラッド4に添加された塩素の添加量の割合が増加するにつれて（比屈折率差 $\Delta J$ が小さくなるにつれて）、光伝送損失が減少していることが分かる。

【0065】なお、発明者らは、上述した第2実施例の試料について第3クラッド4の非屈折率差 $\Delta J$ と光伝送損失との関係が、図12に示されたグラフに略一致することを確認した。また、発明者らは、上述した第3実施例の試料についても、第3クラッド4の非屈折率差 $\Delta J$ と光伝送損失との関係が、上述の図18に示されたグラフに略一致することを確認した。

【0066】

【発明の効果】以上説明したように、この発明に係る分散補償ファイバは、実質的に光信号の伝搬に寄与しない

\*【0061】この第4実施例におけるコア1、及び第1～第3クラッド2～4は、以下のように構成されている。

\*【0062】

ガラス領域であって第2クラッド3あるいは純粋石英ガラスに比べて所定温度におけるガラス粘性が低下するよう制御された第3クラッド4を第2クラッド3の外側に設けたので、線引を実施した場合には、より低温でのファイバ母材の線引が可能になるため、コア1に高濃度の $\text{GeO}_2$ を添加したタイプの分散補償ファイバを製造する場合にも、光伝送損失をより低減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る分散補償ファイバの断面構造、対応する光強度分布、及び対応する屈折率プロファイルを示す図である。

【図2】純粋石英ガラスに添加される代表的な屈折率制御用の不純物について、その添加量と所定温度におけるそのガラス粘性との関係を示すグラフである。

【図3】純粋石英ガラスに添加されるフッ素の添加量（wt%）と、純粋石英ガラスを基準としたその比屈折率差（%）との関係を示すグラフである。

【図4】第2クラッドの外径算出にあたって示した参考図であり、屈折率プロファイルとそれに対応する光強度分布を示す図である。

【図5】試作した分散補償ファイバの構造及び諸特性を示す図表である（ $\Delta^+ = 2.5\%$ の場合）。

【図6】試作した分散補償ファイバの構造及び諸特性を示す図表である（ $\Delta^+ = 2.1\%$ の場合）。

【図7】この発明に係る分散補償ファイバの製造工程の一部を示す工程図である。

【図8】図7に示された工程を経て得られたファイバ母材の構造を示す図である。

【図9】この発明に係る分散補償ファイバの第1実施例の屈折率プロファイルを示す図である。

【図10】実験1で試作された第1実施例の分散補償ファイバについて、 $\Delta J$ （純粋石英ガラスを基準とした第3クラッドの比屈折率差）と光伝送損失との関係を示すグラフである。なお、試作された各分散補償ファイバの、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する分散特性は、波長分散値が $-144 \text{ ps/km/nm}$ であり、分散スロープが $-0.45 \text{ ps/km/nm}^2$ である。

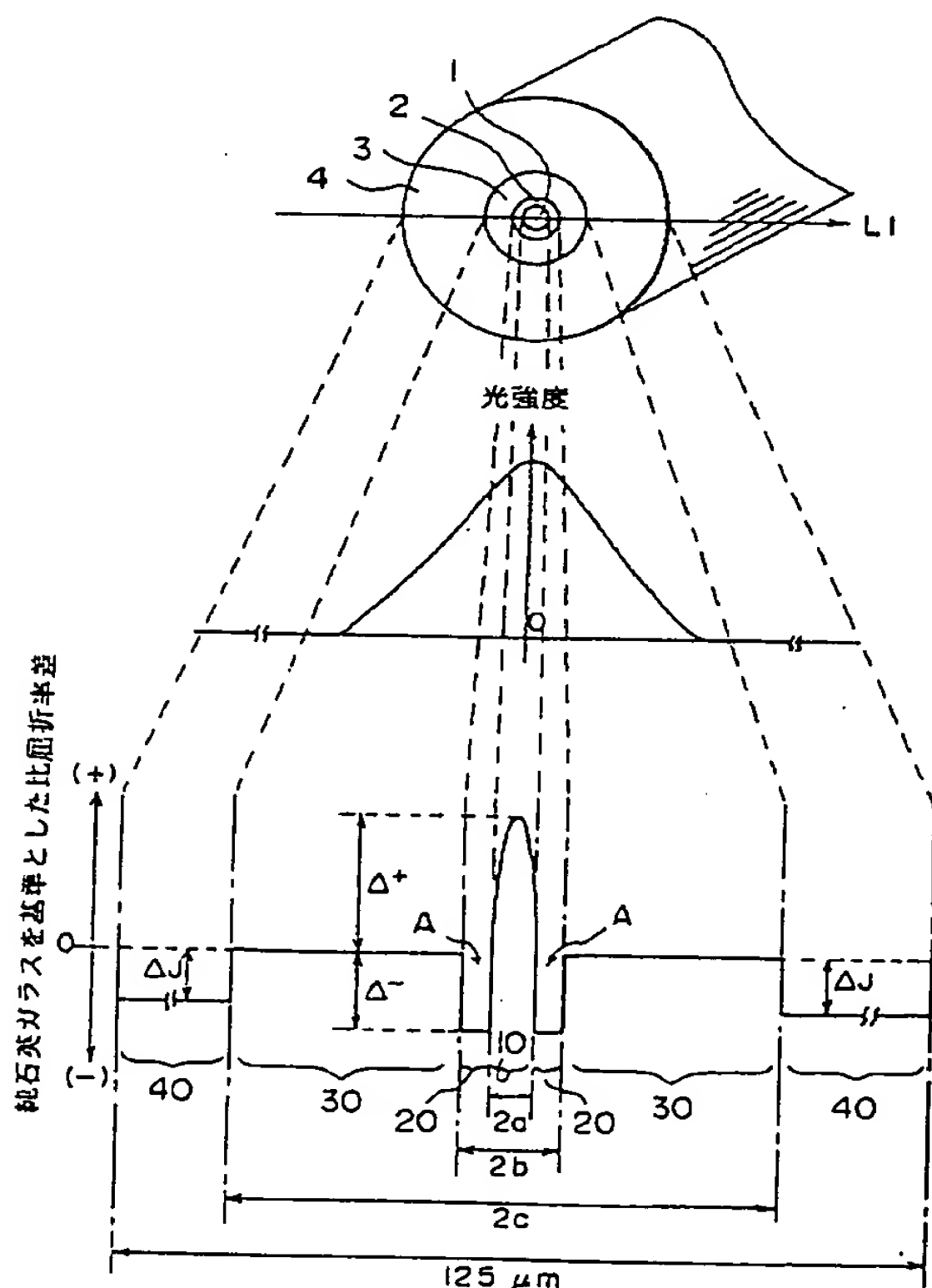
【図 1 1】実験 2 で試作された第 1 実施例の分散補償ファイバについて、 $\Delta J$ （純粋石英ガラスを基準とした第 3 クラッドの比屈折率差）と光伝送損失との関係を示すグラフである。なお、試作された各分散補償ファイバの、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光に対する分散特性は、波長分散値が  $-100 \text{ ps/km/nm}$  であり、分散スロープが  $-0.2 \text{ ps/km/nm}^2$  である。

【図 1 2】実験 3 で試作された第 1 実施例の分散補償ファイバについて、 $\Delta J$ （純粋石英ガラスを基準とした第 3 クラッドの比屈折率差）と光伝送損失との関係を示すグラフである。なお、試作された各分散補償ファイバの、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光に対する分散特性は、波長分散値が  $-85 \text{ ps/km/nm}$  であり、分散スロープが  $-0.2 \text{ ps/km/nm}^2$  である。

【図 1 3】実験 1 で試作された分散補償ファイバについて、製造時の線引張力と光伝送損失との関係を示すグラフである（実験 4）。

【図 1 4】光ファイバ製造時において、線引速度が一定

【図 1】



の場合における、一般的な線引張力と線引温度との関係を示すグラフである。

【図 1 5】この発明に係る分散補償ファイバの第 2 実施例の屈折率プロファイルを示す図である。

【図 1 6】この発明に係る分散補償ファイバの第 3 実施例の屈折率プロファイルを示す図である。

【図 1 7】この発明に係る分散補償ファイバの第 4 実施例の屈折率プロファイルを示す図である。

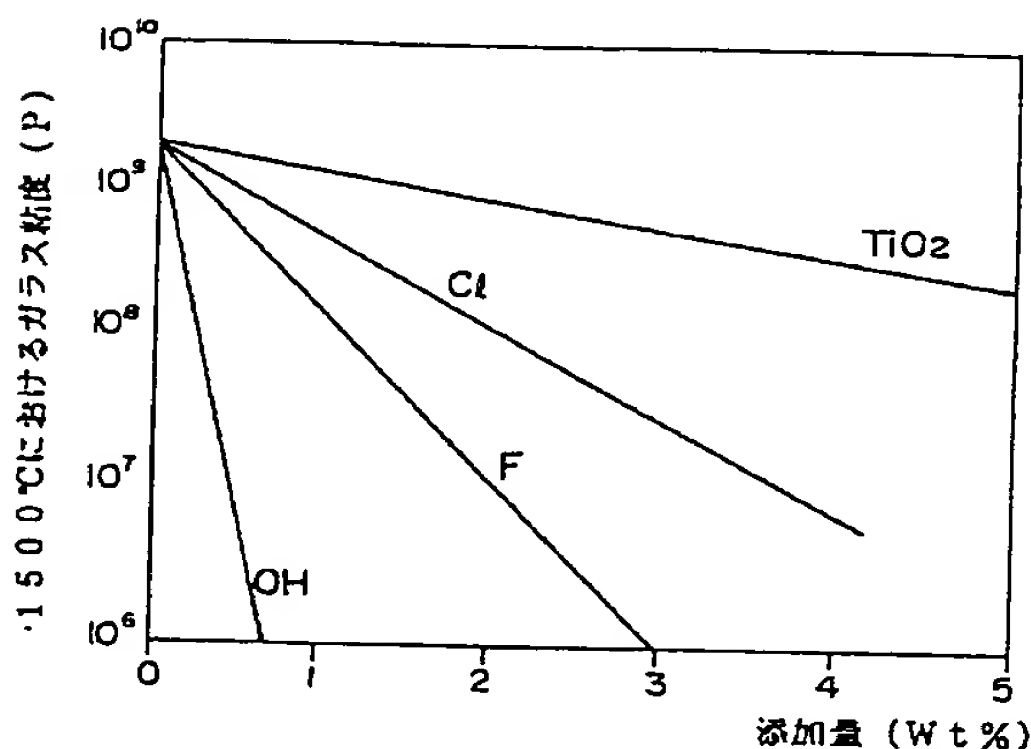
【図 1 8】試作された第 4 実施例の分散補償ファイバについて、 $\Delta J$ （純粋石英ガラスを基準とした第 3 クラッドの比屈折率差）と光伝送損失との関係を示すグラフである。

【図 1 9】従来の分散補償ファイバの構造及びそれに対応する屈折率プロファイルを示す図である。

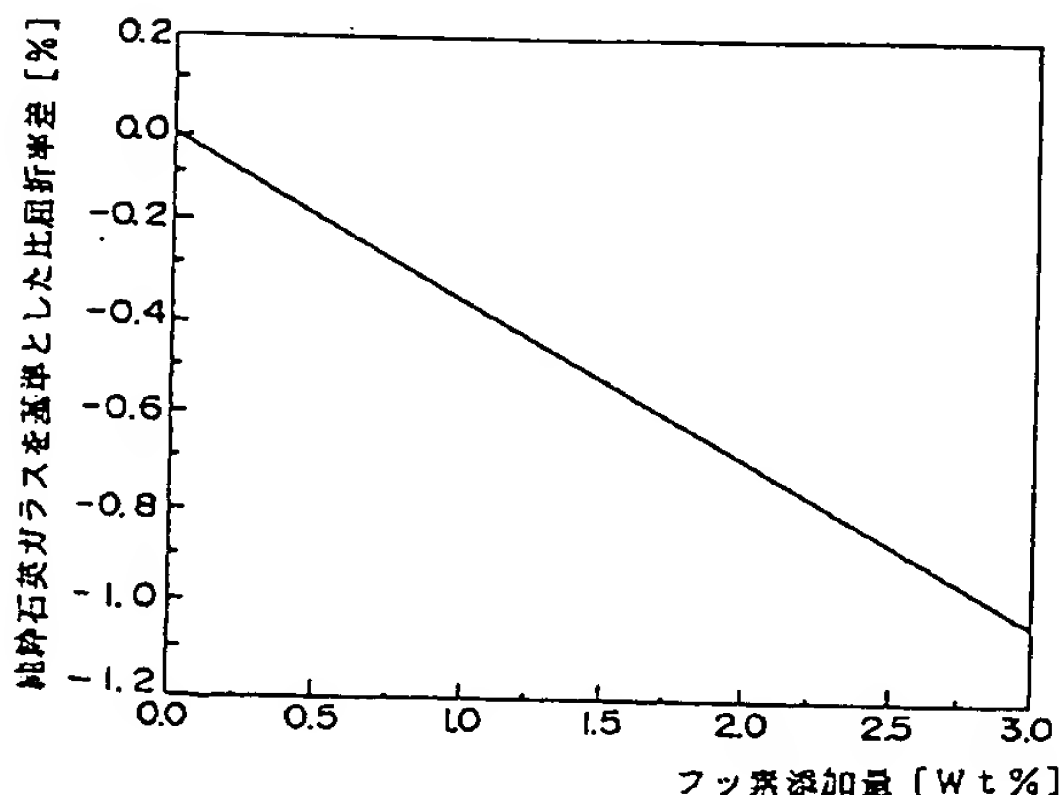
【符号の説明】

1…コア、2…第 1 クラッド、3…第 2 クラッド、4…第 3 クラッド

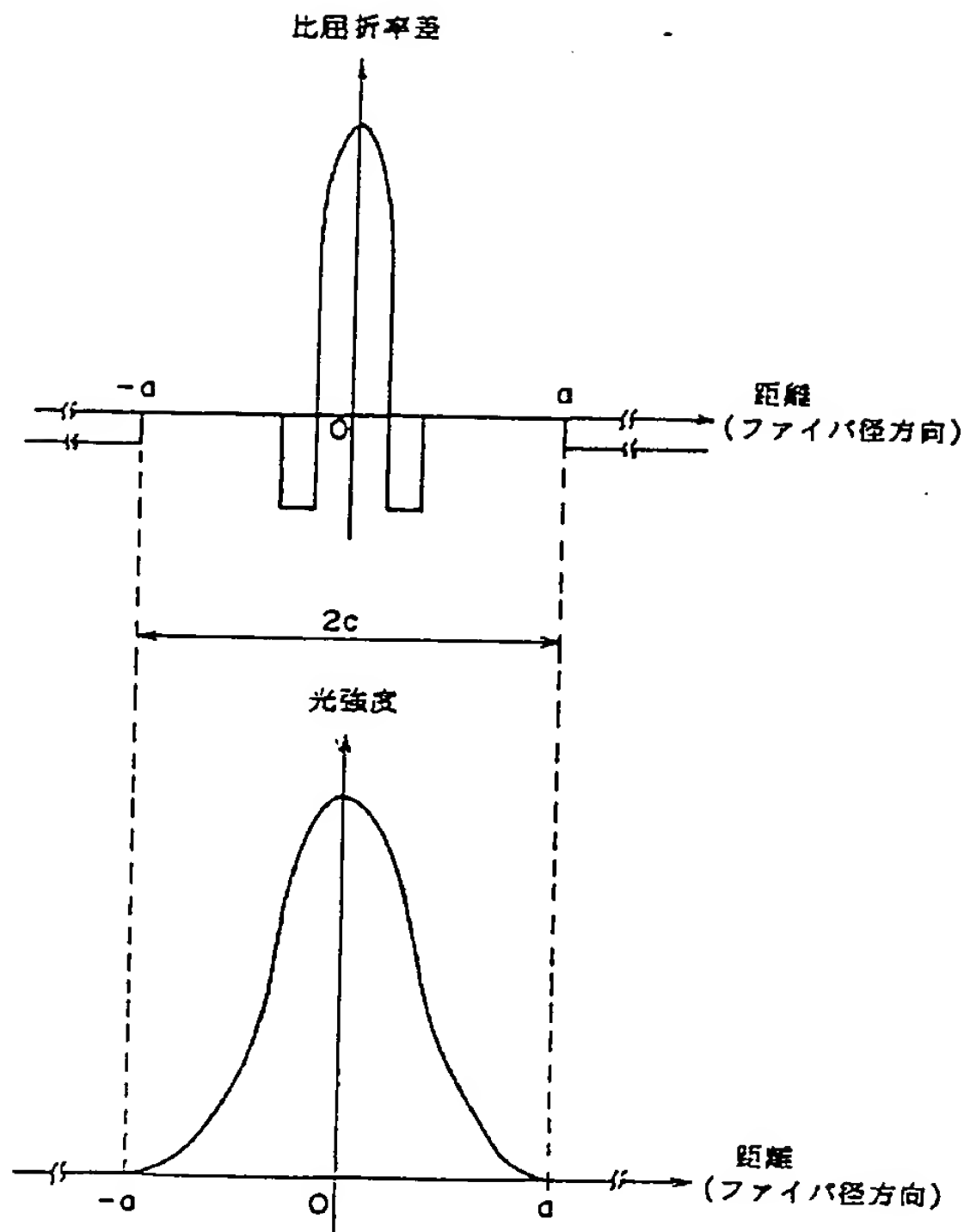
【図 2】



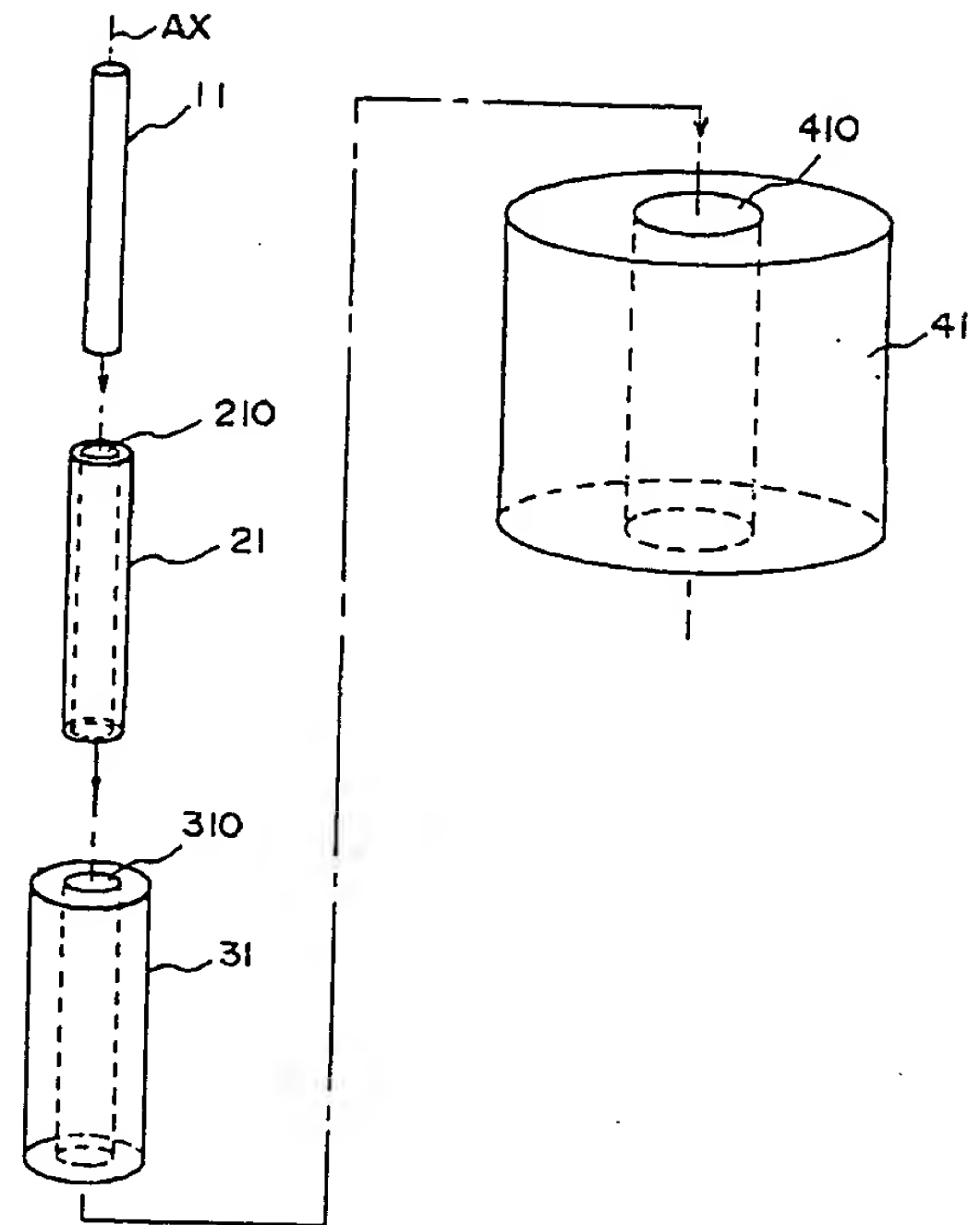
【図 3】



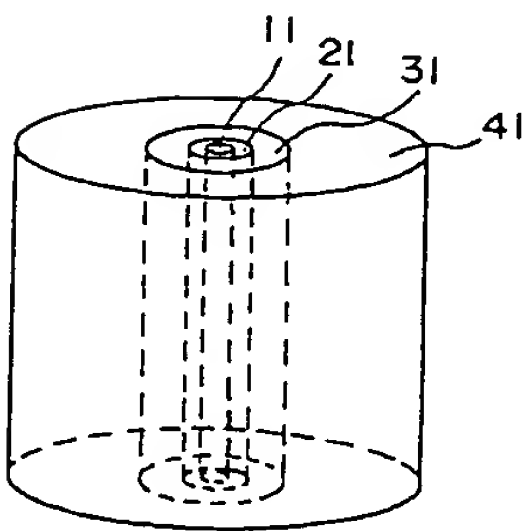
【図4】



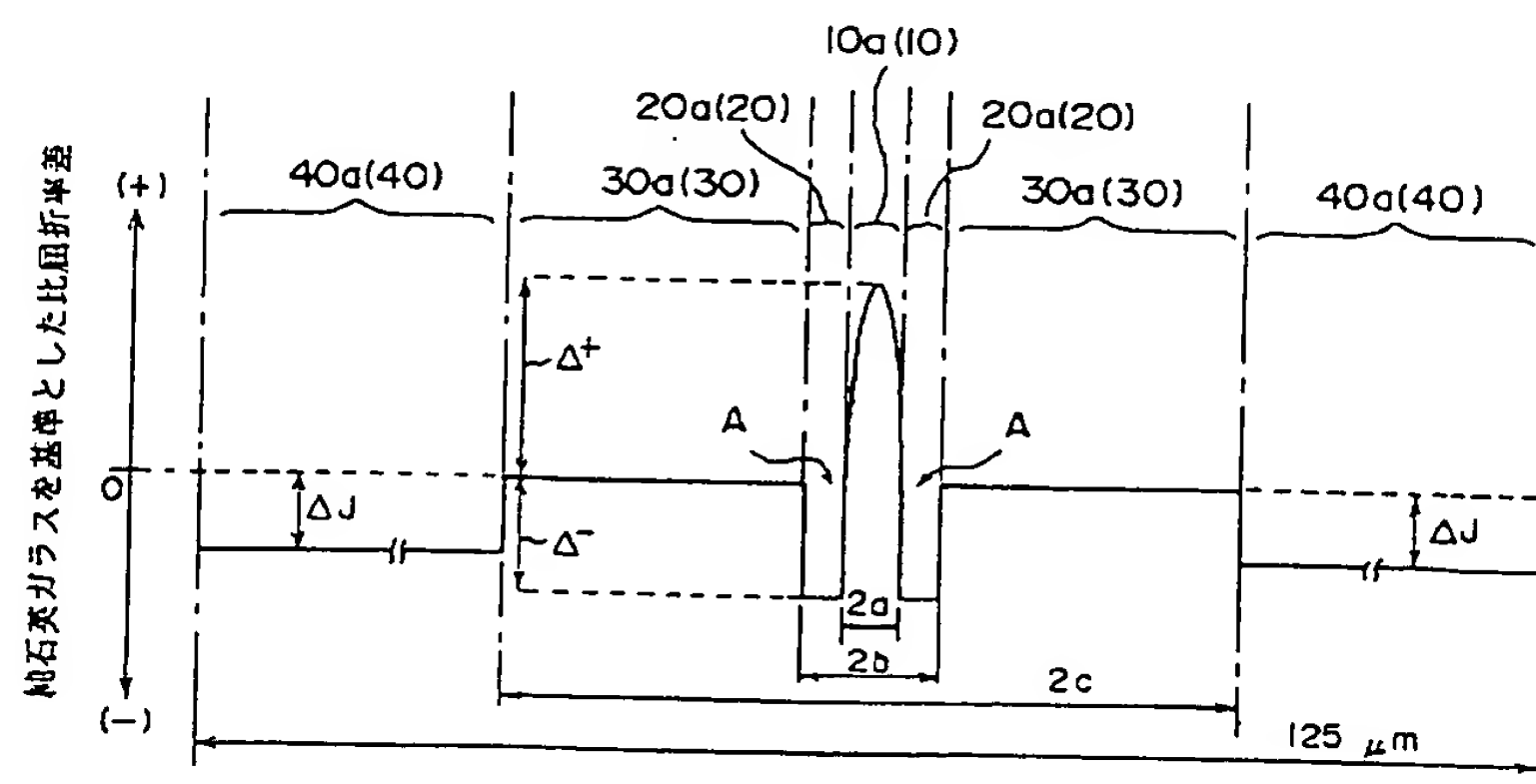
【図7】



【図8】



【図9】





Δt=2.5%

	コア ( $\mu\text{m}$ )	第1 クラッド ( $\mu\text{m}$ )	第2クラッド ( $\mu\text{m}$ )	第2クラッド ( $\mu\text{m}$ )	第2クラッド ( $\mu\text{m}$ )	分散 スロープ $\text{ps/Km/nm}^2$	波長分散値 $\text{ps/Km/nm}$	MFD ( $\mu\text{m}$ )
			$1-P_{0-a}=10^{-50}$	$1-P_{0-a}=10^{-40}$	$1-P_{0-a}=10^{-30}$			
Na 1	2.3	6.6	36	32	28	-0.33	-178	4.8
Na 2	2.4	6.9	33	30	26	-0.25	-147	4.4
Na 3	2.5	7.1	31	28	24	-0.16	-122	4.2
Na 4	2.6	7.4	30	27	24	-0.13	-103	4.0
Na 5	2.7	7.7	30	27	23	-0.10	- 88	3.9
Na 6	2.8	8.0	29	26	23	-0.07	- 75	3.8

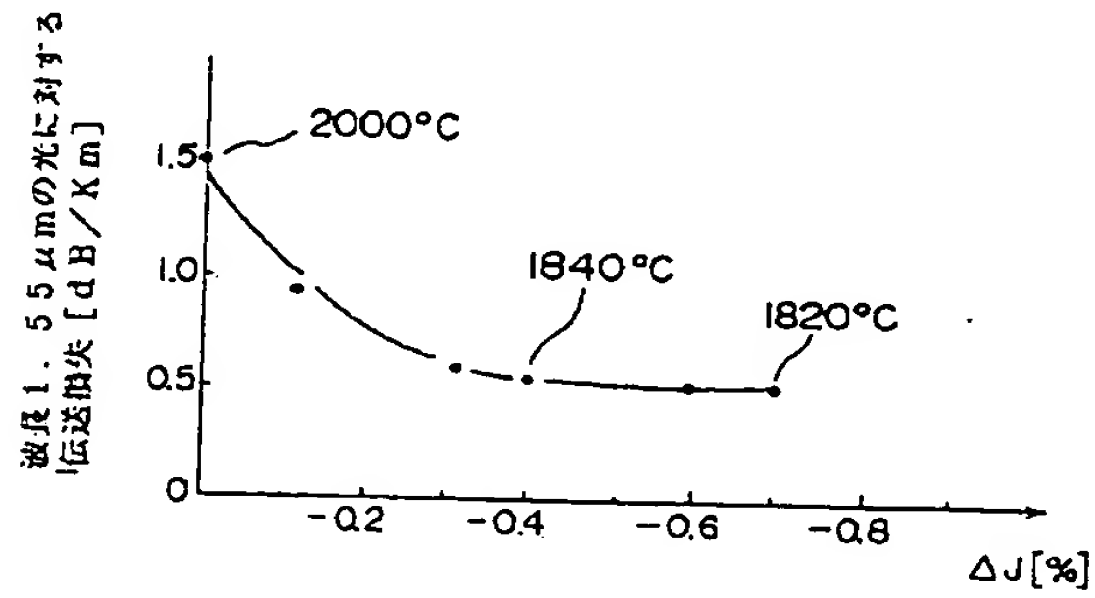
【図 5】

Δt=2.1%

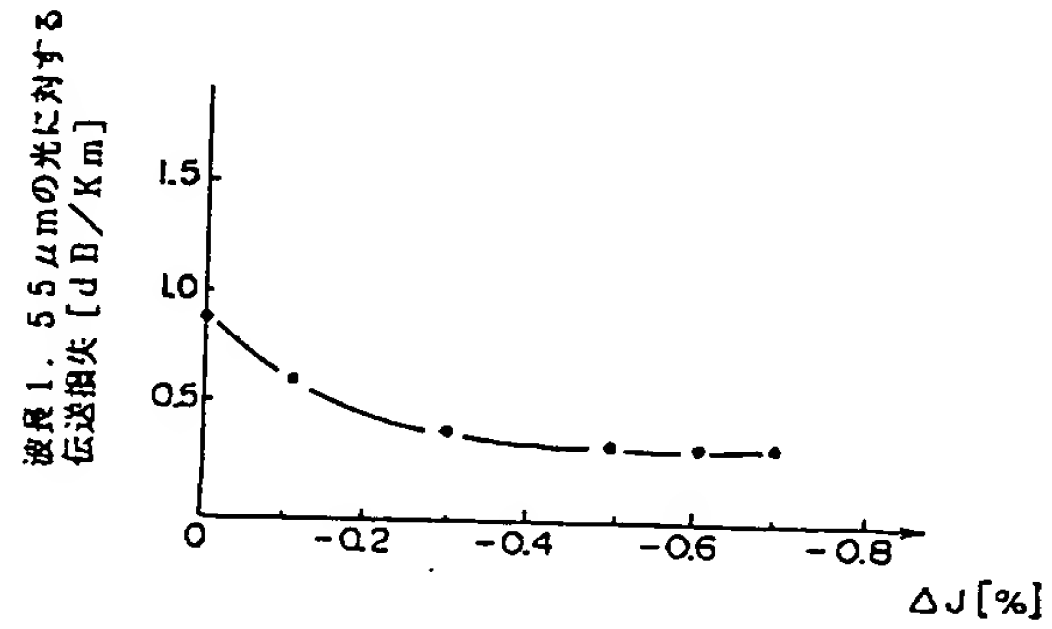
コア (μm)	第1 クラッド (μm)	第2クラッド (μm)	第2クラッド (μm)	第2クラッド (μm)	分散 スロープ ps/Km/nm <sup>2</sup>	波長分散値 ps/Km/nm	MFD (μm)	
		1-P <sub>0-a</sub> =10 <sup>-50</sup>	1-P <sub>0-a</sub> =10 <sup>-40</sup>	1-P <sub>0-a</sub> =10 <sup>-30</sup>				
Na 1	2.6	7.4	37	33	29	-0.54	-155	4.9
Na 2	2.7	7.7	35	31	27	-0.33	-120	4.6
Na 3	2.8	8.0	33	30	26	-0.21	- 96	4.4
Na 4	2.9	8.3	32	29	25	-0.14	- 80	4.3
Na 5	3.0	8.6	32	28	25	-0.09	- 67	4.2
Na 6	3.1	8.9	31	28	24	-0.06	- 57	4.1
Na 7	3.2	9.1	31	28	24	-0.04	- 48	4.1

【図 6】

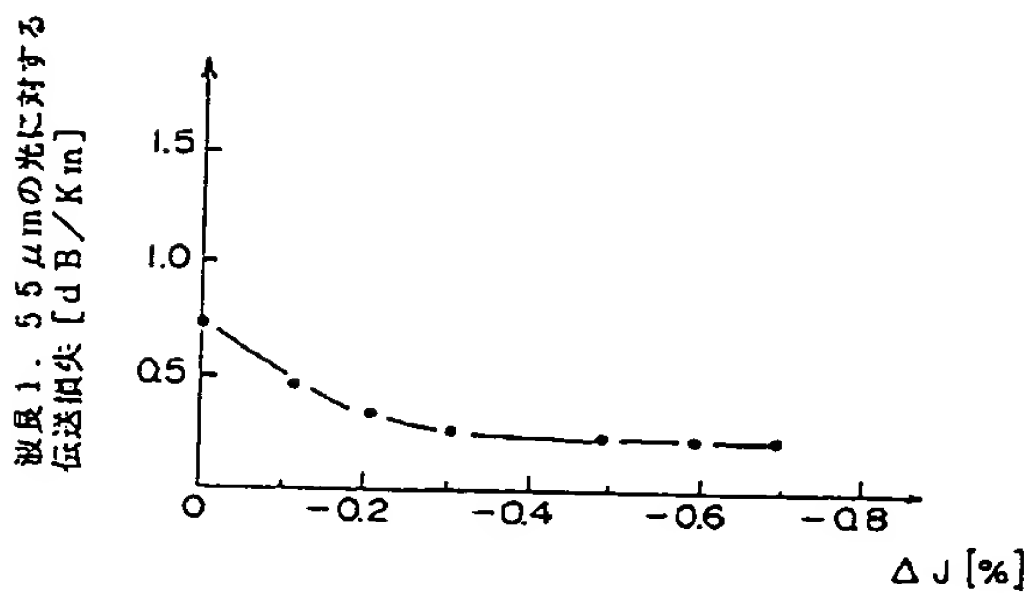
【図10】



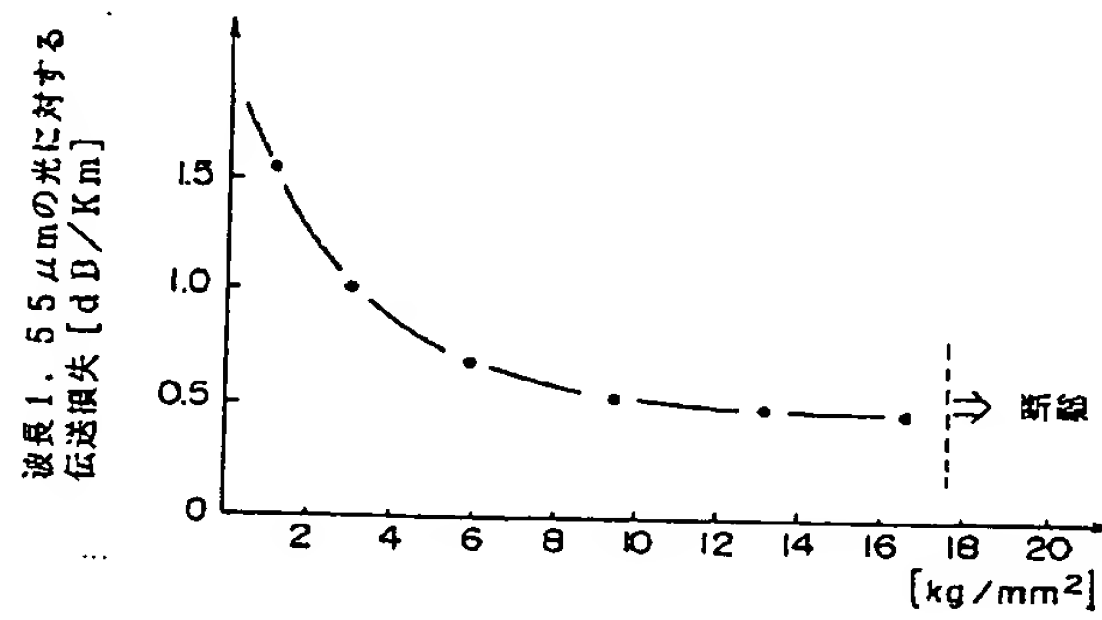
【図11】



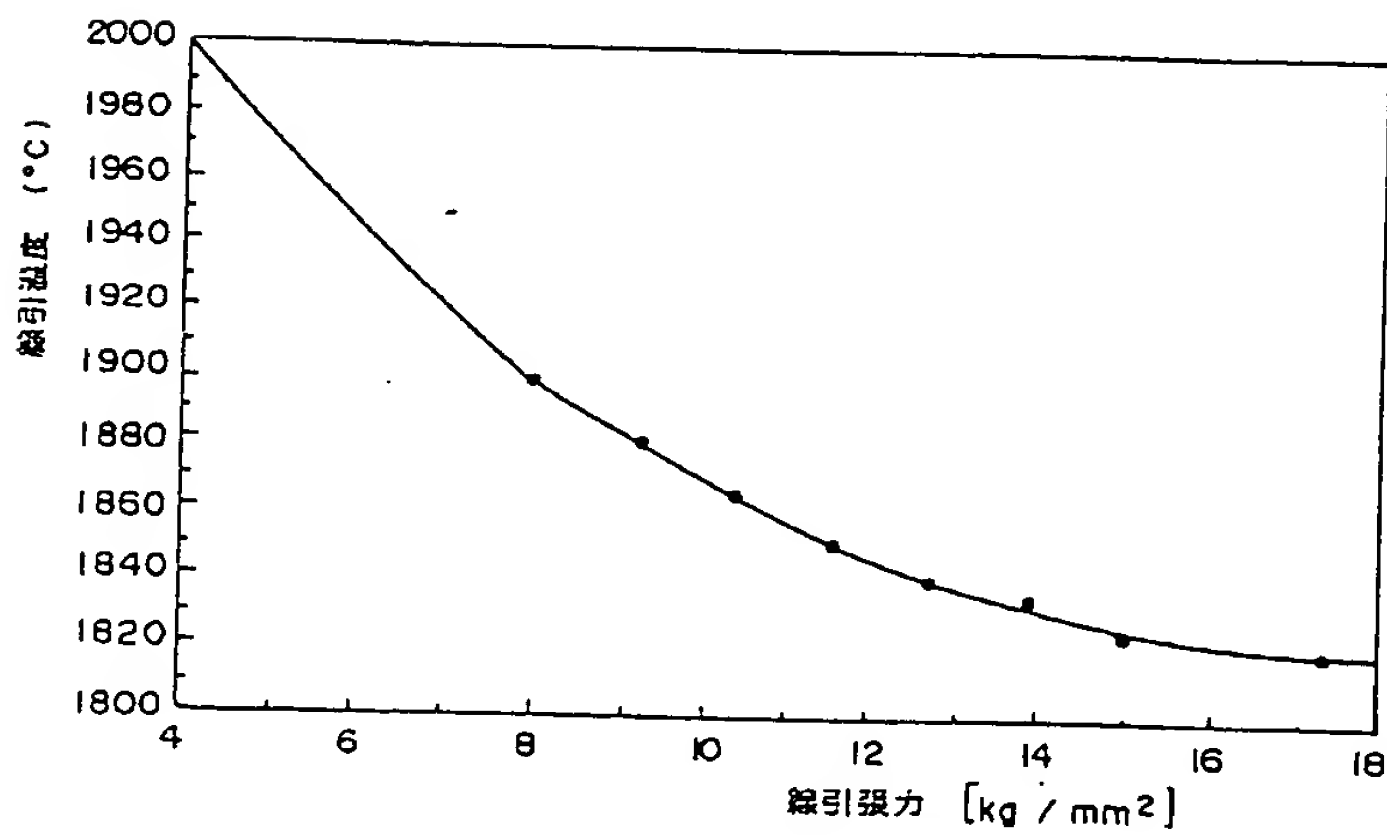
【図12】



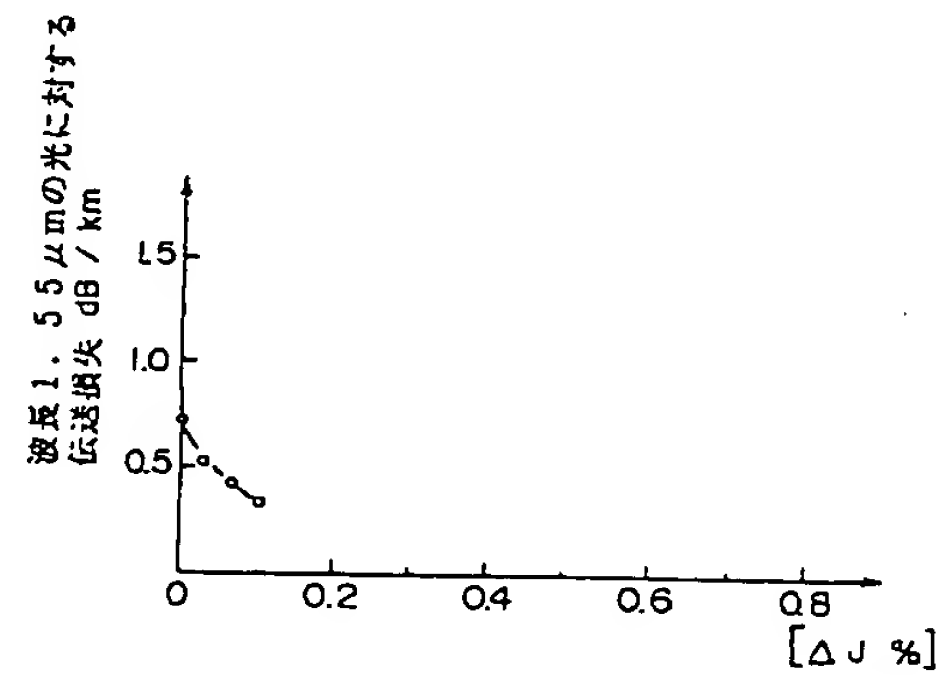
【図13】



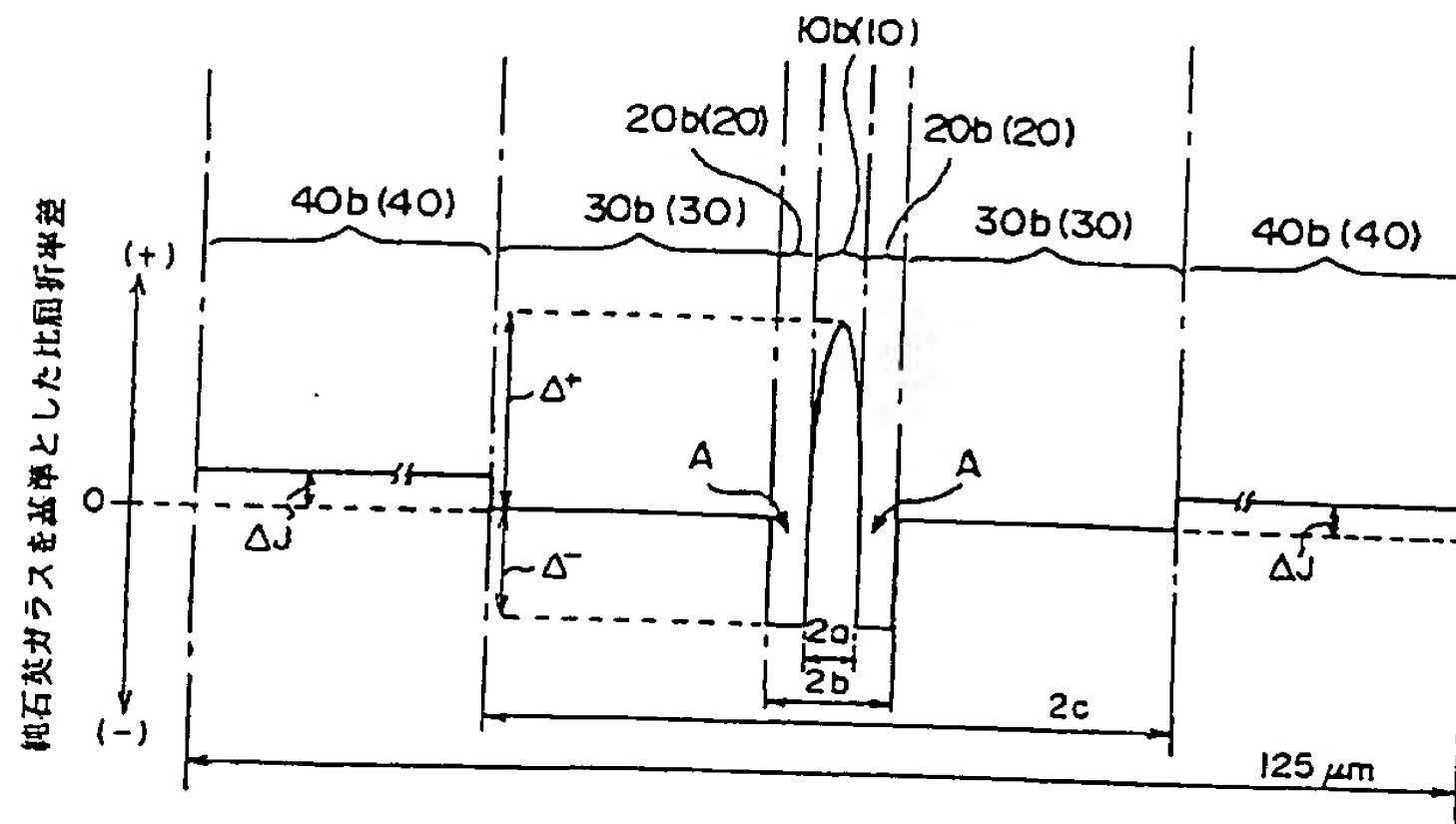
【図14】



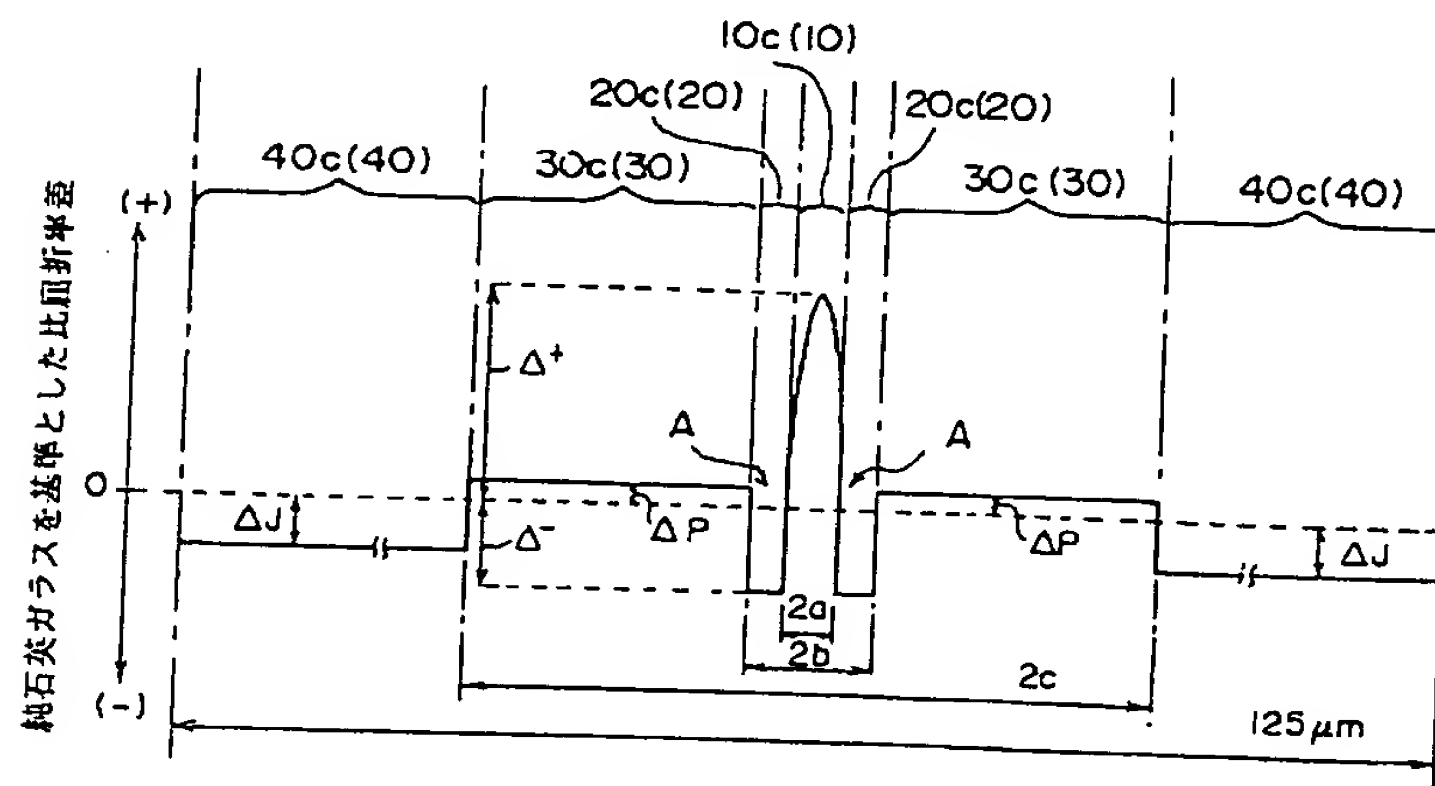
【図18】



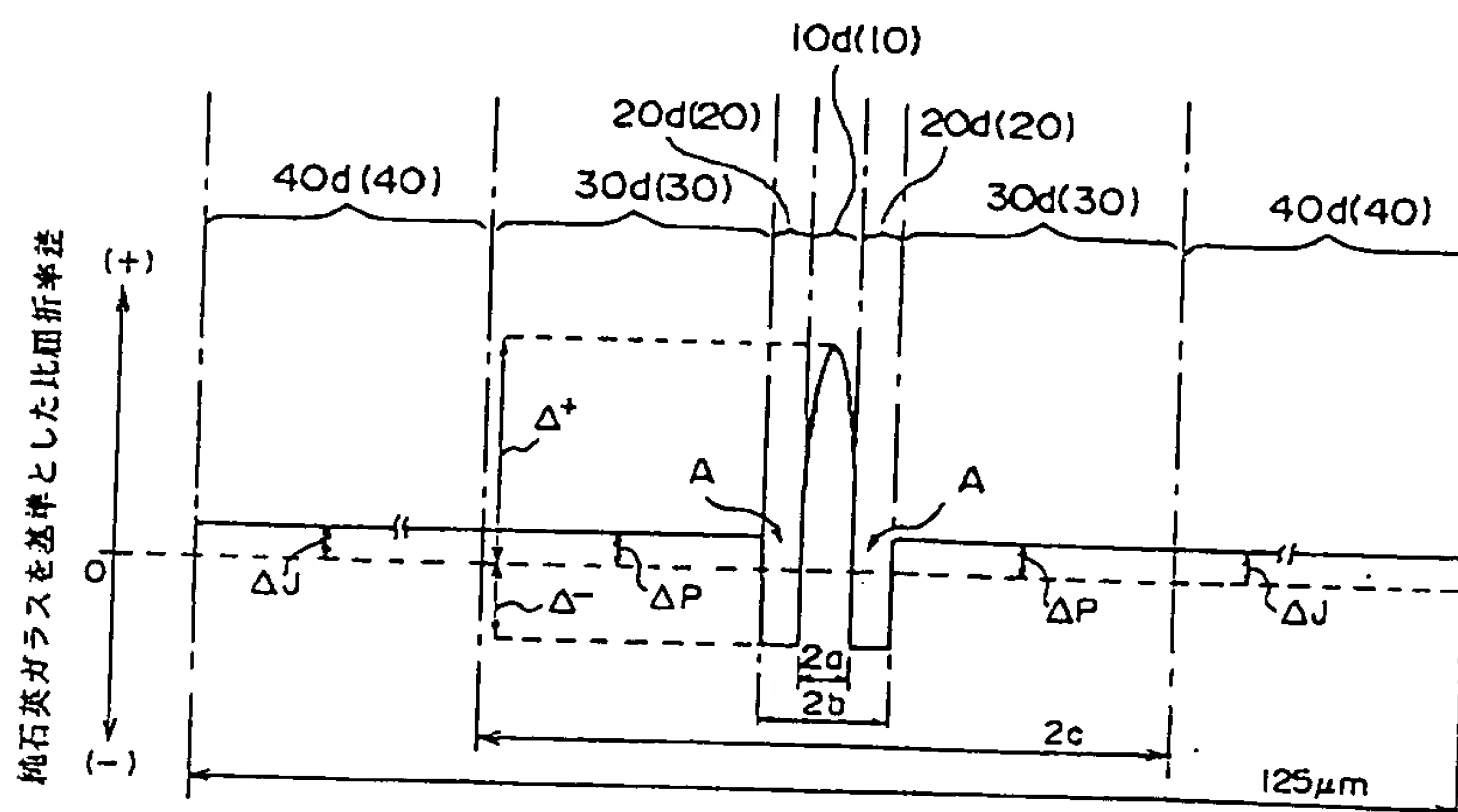
【図 15】



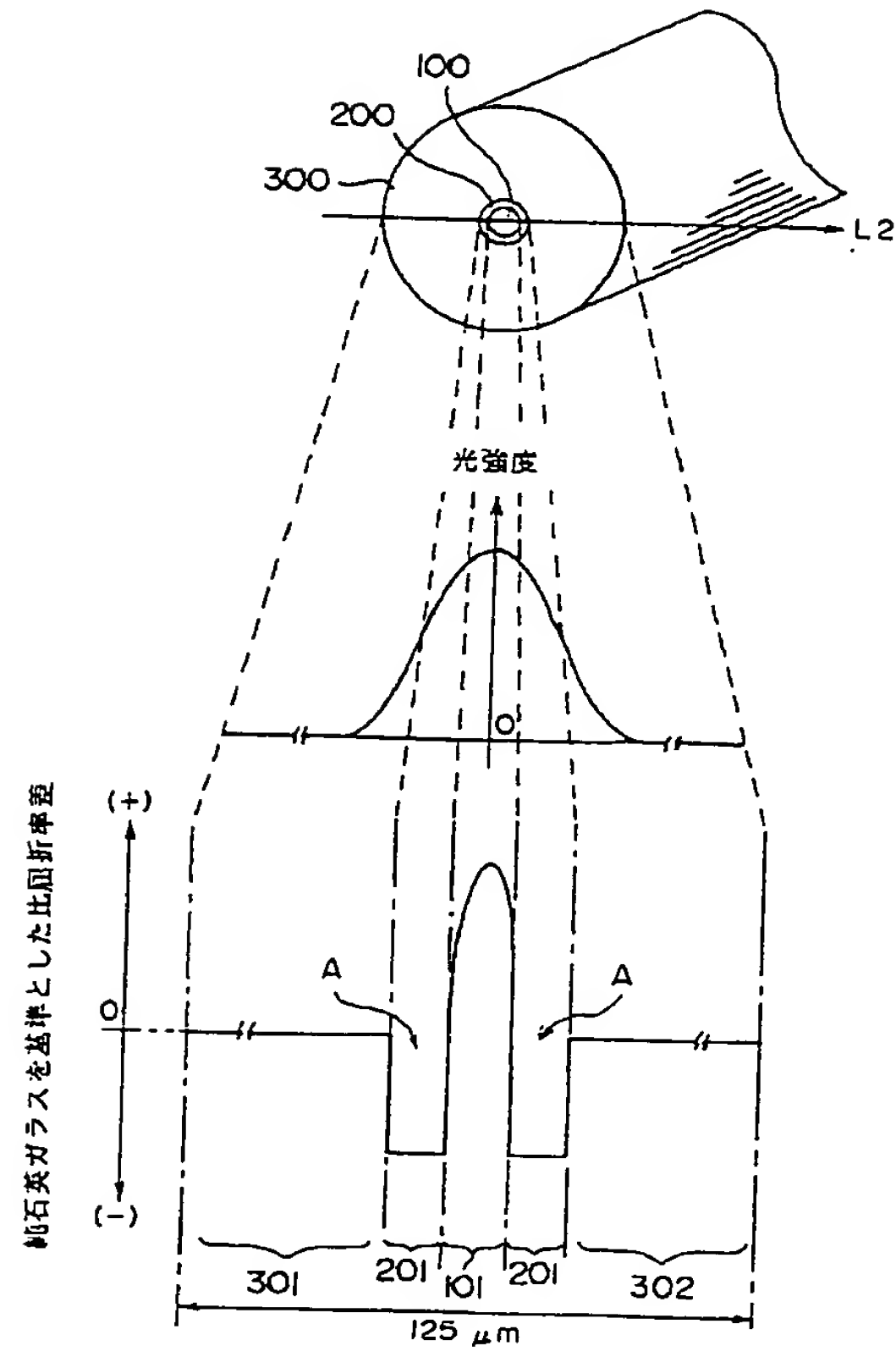
【図 16】



【図 17】



【図19】





D59449

受領書

平成10年10月29日

特許庁長官

識別番号 100088155

氏名(名称) 長谷川 芳樹 殿

提出日 平成10年10月29日

以下の書類を受領しました。

項番	書類名	整理番号	受付番号	出願番号通知(事件の表示)
1	特許願	098Y0410	59800691268	特願平10-308678

以上